

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA MULTI-INSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
RODRIGO GONÇALVES DE LIMA



**MERCÚRIO NA AMAZÔNIA – CIANETO “VERDE” A PARTIR DA MANDIOCA
COMO ALTERNATIVA AO MERCÚRIO EM MINERAÇÃO ARTESANAL E PEQUENA
ESCALA (ASM)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA MULTI-INSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
RODRIGO GONÇALVES DE LIMA



**MERCÚRIO NA AMAZÔNIA – CIANETO “VERDE’ A PARTIR DA MANDIOCA
COMO ALTERNATIVA AO MERCÚRIO EM MINERAÇÃO ARTESANAL E PEQUENA
ESCALA (ASM)**

Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação Multi-Institucional em Biotecnologia – PPGBIOTEC da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do Título de Doutor em Biotecnologia

ORIENTADOR: Dr. Rogério Eiji Hanada

Manaus-AM 2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L732m	<p>Lima, Rodrigo Gonçalves de Mercúrio na Amazônia – Cianeto 'verde' a partir da mandioca como alternativa ao mercúrio em mineração artesanal e pequena escala (ASM) / Rodrigo Gonçalves de Lima . 2022 85 f.: il. color; 31 cm.</p> <p>Orientador: Rogério Eiji Hanada Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas.</p> <p>1. Cianeto. 2. Mineração artesanal. 3. Amazônia. 4. Bioeconomia. I. Hanada, Rogério Eiji. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título</p>
-------	---

RODRIGO GONÇALVES DE LIMA

**MERCÚRIO NA AMAZÔNIA – CIANETO “VERDE” A PARTIR DA MANDIOCA
COMO ALTERNATIVA AO MERCÚRIO EM MINERAÇÃO ARTESANAL E PEQUENA
ESCALA (ASM)**

Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação Multi-Instucional em Biotecnologia – PPGBIOTEC da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do Título de Doutor em Biotecnologia

Aprovado em: 09/08/2022

BANCA EXAMINADORA

Dr. Rogério Eiji Hanada
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA

Dr. Pedro de Queiroz Costa Neto

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM

Dr^a. Vera Lucia Imbiriba Bentes
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO DO AMAZONAS - UFAM

Dr^a. Maria do Carmo Silva Barreto
MANÁ ALIMENTO AGROINDUSTRIAL - CIBUS

Dr^a. Ginarajadaça Ferreira dos Santos Oliveira
CENTRO DE BIOTECNOLOGIA DA AMAZONIA - CBA

AGRADECIMENTOS

Deus, mãe,
irmãos, esposa, filhos e inúmeros amigos por todo
incentivo para realização deste trabalho.
Em especial dentre grandes iluminados nesta terra,
Ao meu Mestre e amigo Franciscon, Carlos Henrique.

Sumário

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
1.1.1 Enunciado do problema	17
1.1.2 Questões sociais na Amazônia.....	17
1.1.3 Mercúrio	18
1.1.4 Cianeto.....	18
1.1.5 Lixiviação de ouro com plantas cianogênicas Novas abordagens de aplicação	18
1.1.6 Uma revisão de glicosídeos cianogênicos em plantas comestíveis	19
1.2.2 A MANDIOCA – PLANTA CIANOGENÉTICA AMAZÔNICA.....	20
1.2.2.1 Mandioca	20
1.2.4 Cianetação para recuperação do ouro	25
1.2.4.1 Lixiviação de ouro com o uso do cianeto - de sódio (NaCN)	26
1.3 Justificativa.....	28
1.4 OBJETIVO GERAL :.....	29
1.4.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	29
Objetivos do Capítulo I.....	29
Objetivos do Capítulo II.....	29
CAPITULO I	30
2. ERRADICAÇÃO DO MERCÚRIO NA AMAZÔNIA – CIANETO “VERDE’ A PARTIR DA MANDIOCA COMO ALTERNATIVA AO MERCÚRIO EM MINERAÇÃO ARTESANAL E PEQUENA ESCALA (ASM).....	30
RESUMO.....	30
2.1 INTRODUÇÃO.....	30
2.1.2 LIXIVIAÇÃO DE OURO COM PLANTAS CIANOGENÉTICAS NOVAS ABORDAGENS DE APLICAÇÃO	31
2.1.3 TEORIA DE LIXIVIAÇÃO DE OURO COM MANIPUEIRA.....	32
2.1.4 EXTRATO DE MANDIOCA – OUTRAS INFORMAÇÕES.....	34
2.2 MATERIAIS E METODOS.....	35
Primeira fase da pesquisa (Fase 1).....	35
Na segunda fase da pesquisa (Fase 2) – Análise da influência do ph na estabilização do CN livre das mandiocas e geração de cianeto em função do tempo.....	35
Experimento A: (houve estabilização inicial da manipueira utilizando carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃)).	35
Experimento B: (não houve estabilização da manipueira, procedeu-se os testes utilizando o Ph natural – 6,5.....	35
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
2.3.1 Primeira fase da pesquisa.....	38

2. 3.1.1 A Região Norte do Brasil.....	38
2.3.1.2 Região Nordeste do Brasil	38
2.3.2 Segunda fase da pesquisa – Análise da influência do ph na estabilização do CN livre das mandiocas.....	43
2.3.2.1 Experimento “A” (houve estabilização do pH):	43
2.3.2.2 Experimento “B” (não houve estabilização do pH):.....	43
2.3.3 cinética da síntese de cn livre em função do tempo	44
2.4 CONCLUSÃO	47
CAPITULO II.....	48
3. CIANETO DE MANDIOCA: VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE MANIPUEIRA PARA ERRADICAÇÃO DO MERCÚRIO NA MINERAÇÃO, E PROPOSTA PARA BIOECONOMIA CIRCULAR NA AMAZÔNIA, BRASIL	48
Resumo:	48
3.1. Introdução	49
3.1.2 Lixiviação de ouro com plantas cianogênicas novas abordagens de aplicação	50
3.1.3 Teoria de lixiviação de ouro com manipueira	50
3.1.4 Extrato de mandioca – outras informações.....	51
3.2 Metodologia.....	51
3.3 Resultados e Discussão	52
3.3.1 Mandioca.....	52
3.3.1.2 Lixiviação de ouro com <i>Manihot esculenta</i> Crantz: novas abordagens de aplicação.....	53
3.3.1.3 Aspectos tecnológicos do uso da mandioca	53
3.3.1.4 Produtividade no Brasil.....	54
3.3.1.5 Produção de mandioca no Brasil.....	56
3.3.2 Desenvolvimento sustentável.....	61
3.3.2.1 Desenvolvimento sustentável da bioeconomia	61
3.3.2.2 Bioeconomia ou economia verde	61
3.3.2.3 Economia circular	63
3.3.2.4 Bioeconomia circular	63
3.3.2.5 Arranjos Produtivos Locais- APL.....	64
3.3.3 Microeconomia	65
3.3.3.1 Potencial uso dos subprodutos na geração de tecnologias sustentáveis para abastecimento do mercado minerador para eliminação do mercúrio.....	66
3.3.3.2 Etapas da produção de farinha	68
3.3.3.3 Potencialidades do uso da mandioca como tecnologia social.....	69
3.3.3.4 Ecotecnologia - Impactos esperados com a implantação da de cianeto de origem natural para fornecimento a mineração em substituição ao mercúrio.....	70

3.8 Proposta de modelo econômico alternativo para desenvolvimento sustentável de polos microeconômicos em (Bioeconomia circular) na Amazônia (Figura 12)	72
4. Considerações finais	74
Conclusão geral	76
Conclusão do Capítulo I	76
Conclusão do Capítulo II	77
Próximas etapas do projeto	78
Agradecimentos	79
Referências	80

LISTA DE FIGURAS

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Figura 1: Partes da célula vegetal em que os metabólitos secundários são produzidos (Ram Dixit, Elizabeth Haswell, 2020) e (Bruno Nery, 2015) ix

Figura 2: Quebra de glicosídeos cianogênicos de mandioca por linamarase (adaptado) (Qin et al., 2021) (Qin et al., 2021) 22

Figura 3: Formação dos compostos cianogênicos na mandioca - Produção e distribuição de linamarina (Bruno Nery, 2015) 23

Figura 4: Hidrólise salina de ácido fraco e base forte (Souza, 2022) 25

Figura 5: Processo de cianetação utilizado em Peixoto de Azevedo – Mato Grosso 27

CAPITULO I

Figura 1: a - Esquema simplificado da hidrólise da linamarina para síntese de Cianeto de hidrogênio (Bolarinwa et al., 2016), 1b The biosynthetic pathway for the production of linamarin, the primary cyanogenic glycoside in cassava (b–e), and subsequent degradation to cyanide and acetone (e–g). The first committed synthetic step is catalysed by one of two P450 enzymes (CYP79D1 and D2) (Jørgensen et al., 2005) to form an oxime (c). The oxime is then converted to a cyanohydrin (d), catalysed by another P450 (CYP71E7) (Solomonson, 1981) and then stabilised by a glucosidic bond, in a reaction catalysed by a glucosyltransferase (UGT85B). Cyanogenesis is the process whereby the cyanogenic glycoside (here, linamarin) comes into contact with a specific β -glucosidase (e.g., linamarase); glucose is released and the unstable α -hydroxynitrile (d) disassociates (either spontaneously or in the presence of α -hydroxynitrile lyase), releasing a ketone (acetone) and hydrogen cyanide, which is toxic (Solomonson, 1981) Diagram is adapted from (Møller, 2010) and (Jørgensen et al., 2005).33

Figura 2: Fluxograma da metodologia – (a), fase 1- pesquisa de campo para coleta de mandioca de alto teor de cianeto livre; (b), fase 2 - análise da influência do ph na estabilização do CN livre das mandiocas, este experimento foi dividido em Experimento “A” e Experimento “B”; (c) Etapas da preparação para análise da manípueira com kit colorimétrico; (d) Kit colorimétrico para análise de CN livre <https://www.chemetrics.com/product-category/test-kits/cyanide-free/>36

Figura 3: Local de processamento da Cassava para produção de Farinha denominado - casa de farinha ..38

Figura 4: Nas zonas climáticas semiárido e super-úmida as cassavas analisadas expressaram maior concentração de CN-, estes resultados tem ratificado as hipóteses de que o estresse hídrico por excesso ou falta de água contribuem para a para a maior concentração de CN.....41

Figura 5: A sobreposição dos mapas da Figura 4 e 5, se observará que a incidência de chuva está diretamente relacionada com umidade relativa do ar nas regiões brasileiras, este fato também corrobora para a afirmação de que a disponibilidade de água é fator determinante para os níveis de concentração de CN- nas cassavas analisadas.....41

Figura 6: Estados brasileiros e localização das coletas de mandioca42

Figura 7: Exemplares que foram utilizados para os testes de estabilização no experimento “A” e Experimento “B” com os respectivos códigos rr1; rr2; rr3; rr4; rr5; rr646

CAPITULO II

Figura 1: Esquema simplificado da hidrólise da linamarina para síntese de Cianeto de hidrogênio50

Figura 2: Síntese de cianeto em diferentes partes das plantas na defesa de pragas e doenças52

Figura 3: A mandioca e seus diferentes uso da raiz e folhas53

Figura 4: Principais produtos da cadeia da mandiocultura55

Figura 5: Os estados com maior produção de mandioca no Brasil.....57

Figura 6: Maiores produtores de mandioca do Brasil (Estado do Pará e Paraná)	57
Figura 7: Economia circular e seus elementos	64
Figura 8: Mapa explicativo das abordagens microeconômicas	66
Figura 9: Local de processamento da mandioca para produção de Farinha denominado “casa de farinha”, no Brasil.....	67
Figura 10: a - Folhas de mandioca , b – Manipueira / tucupi , c – raiz de mandioca com o córtex e pele aparente.....	68
Figura 11: Ilustração da etapa do processo e fabricação de farinha típico da Amazônia	69
Figura 12: Proposta de modelo econômico alternativo para desenvolvimento sustentável de polos microeconômicos em (bioeconomia circular) na Amazônia	73

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

Tabela 1: Locais em que foram coletados mandiocas e variedades genótipos	40
Tabela 2: Cianeto livre em função do tempo (pH estabilizado)	46
Tabela 3: Cianeto livre em função do tempo (pH não estabilizado)	46

CAPITULO II

Tabela 1: Mandioca em números produção agrícola - lavoura temporária ano 2020	56
Tabela 2: Mandioca- principais estados- área, produção e produtividade 2018/19	58
Tabela 3: Quadro comparativo da produção potencial de cianeto no estado do AMAZONAS – BRASIL a partir da produção de mandioca.....	70
Tabela 4: Os principais setores do agronegócio	74

LISTA DE QUADROS

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

- Quadro 1: conteúdo d HCN em gramíneas (A. Diaz et al., 1978) 19
- Quadro 2: Conteúdo d HCN em gramíneas (A. Diaz et al., 1978) 19

LISTA DE GRÁFICOS

CAPITULO I

Gráfico 1: Experimento A: Manipueira com pH estabilizado em 10.5	45
Gráfico 2: Experimento B: Manipueira com pH não estabilizado	45

CAPITULO II

Gráfico 1: Ranking dos países que mais produzem mandioca	54
Gráfico 2: Mandioca / Valor da produção (R\$ x 1000)	60
Gráfico 3: Mandioca / Rendimento médio (Kg/ha)	60
Gráfico 4: Mandioca / Area colhida (ha)	60
Gráfico 6: Mandioca / quantidade produzida (t)	60
Gráfico 5: Mandioca / Área plantada (ha)	60

LISTA DE VIDEOS

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Vídeo 1: Veja reportagem como funciona a coleta do ouro no norte brasileiro (Record) 17

Vídeo 2: A triste história do garimpo da serra pelada 17

Vídeo 3: A química da liberação do Cianeto nos produtos da mandioca – (EMBRAPA 2022) 24

Vídeo 4: : Processo de lixiviação para extrair ouro | Febre do Ouro: O Desafio de Parker | Discovery Brasil (Youtube) 28

RESUMO

A mineração artesanal de ouro é uma atividade mundial que inclui cerca de 20 milhões de garimpeiros e produz até 450 toneladas/ano de mercúrio é o principal reagente para extração de ouro em explorações artesanais, mas seu uso indevido pode contaminar o meio ambiente. Ao contrário do mercúrio, o cianeto (CN) pode é volátil e não oferece risco de acúmulo ambiental. Novas tecnologias vêm sendo pesquisadas para a erradicação do mercúrio na mineração, e produzir “cianeto verde” de origem natural a partir da mandioca para substituir o uso do mercúrio na mineração, esta contém glicosídeos que gera cianeto e que podem ser usados para lixiviar o ouro (derreter o ouro), transformando-a na forma iônica para posterior recuperação com o uso do carvão ativado e eletrólise. O objetivo deste estudo foi fazer uma revisão da literatura e levantamento teórico dos aspectos gerais da aplicação da biotecnologia para a mineração e as novas perspectivas biotecnológicas para a mineração artesanal; Screening das concentrações de cianeto livre em diferentes variedade de mandiocas da Amazônia; Definição de protocolo para extração de cianeto bem como fazer: Proposta de modelo alternativo pra bioeconomia (econômica verde) da Amazonia considerando perspectivas de aptidão natural da região geográfica e reprodução de ecotecnologia para uso na mineração como proposta de mitigação/erradicação de mercúrio, considerando baixo custo de implantação, potencial fitorremediação e estabilidade das moléculas (Cianeto estável em estado líquido). A metodologia aplicada (capítulo I), Na fase 1 do projeto foi executada pesquisa de campo para coleta de mandioca de alto teor de cianeto livre, fase 2: análise da influência do ph na estabilização do cn livre das mandiocas e depois feito leitura do nível de cianeto livre utilizando os comparadores de kits colorimétricos da marca Chemetrics, no (capítulo II) foi feito busca de dados da produtividade da mandiocultura no Brasil em repositórios de órgão públicos oficiais, compilado os dados e apresentado os resultados da distribuição da produção de mandioca no Brasil, consideração sobre os produtos gerados e apresentado as potencialidades no uso regional do Amazonas. tendo como principais conclusões: (Capítulo I) Nas variedades de mandiocas analisadas, os fatores climáticos (disponibilidade hídrica e umidade) influenciaram diretamente nos teores de cianeto encontrado nas raízes; Foi identificado seis genótipos (variedades) de mandiocas com alto teor de cianeto: rr1 250 ppm; rr2 350 ppm ;rr3 450 ppm; rr4 325; rr5 750ppm e rr6 900 ppm, código das variedades e teor de cianeto em ppm respectivamente Apesar de picos de altos valores de concentração de ppm em diferentes tempos, observou-se que no tempo 3 (às 3 horas de início de teste) obteve-se os maiores teor de cianeto para a maioria das amostras de manipeira. (Capítulo II) É possível encontrar de forma abundante produtos cianogênicos em (caule, folhas e raízes) de mandioca – planta comestível da Amazônia, e gerar de 111 a 334 mil toneladas de CN-, Novos modelos econômicos podem contribuir para sintetizar produtos de alto valor tecnológico agregado na indústria ou agronegócio da mandiocultura e geração de renda para os amazônidas, principalmente para os amazonenses.

Palavras-chave: Cianeto; Mineração artesanal; Amazônia; Bioeconomia

ABSTRACT

Artisanal mining is a worldwide activity that includes about 20 million prospectors and gold up to 450 tons/year of environment. At the risk of mercury, cyanide (CN) can be volatile and offers no environmental buildup. News has been researching being used in mining, and producing "cyanide" of natural origin from humanity to replace the use of mercury in mining, this contains glycosides that generate cyanide and that can be used to leach or gold -the ionic form for subsequent recovery with the use of activated carbon and electrolysis. The aim of this study was to review the literature and general aspects of the application of the survey of biotechnology to mining and the new biotechnological perspectives to artisanal mining; Screening of free cyanide variations in Amazonian variations; Protocol definition for well-proposed cyanide proposal: low model for the bioeconomy (eco) of the Amazon considering as a forecast of natural green execution of the geographic region and execution of ecotechnology for use as a mitigation proposal, considering/eradication of implementation cost period, phytomediation potential and stability of liquid-stable facilities. The methodology applied (chapter I phase 1 of the project) in the field research for collecting high free cyanide cassava, phase 2: analysis of the influence of pH on the stabilization of free CN from the level readings of cassava and then made free cyanide using the rest of colorimetric kits of the brand comparators Chemetrics, in (chapter II) was search for data on cassava productivity in Brazil in presentations from public agencies, compiling the data and official results of the distribution of cassava production in Brazil, consideration about the products generated and presented as potentialities in the regional use of Amazonas. having as combined factors: (Chapter I) variations of cassava (water available and that) create net in the theories; Six genotypes (varieties) of cassava with high cyanide content were identified: rr1 250 ppm; rr2 350 ppm; rr3 450 ppm; rr4 325; rr5 750ppm and Despite rr6 900 ppm, the variety code and cyanide in ppm respectively of high peaks of ppm concentration at different times, it was observed that there is no time 3 (3 hours of test start) if the higher cyanide content for most cassava samples. (Chapter) It is possible to find abundant cyan products in (stem, leaves and roots) of cassava – an edible plant from the Amazon, and 111 generating 334 thousand tons of CN-, New altogenic models can contribute to synthesize products of high added technological value in the industry or agribusiness of cassava and income generation for the Amazonians, mainly for the Amazonians.

Keywords: Cyanide; Artisanal mining; Amazon; Bioeconomy

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1.1 Enunciado do problema

1.1.2 Questões sociais na Amazônia

A mineração artesanal de ouro (AGM) é uma atividade que inclui cerca de 20 milhões de mineradores em mais de 70 países, produzindo até 450 toneladas / ano de ouro (Seccatore et al., 2014). Enquanto aproximadamente 3 milhões de pessoas vivem somente na Amazônia brasileira e dependem dos recursos naturais na região, onde frequentemente utilizam tecnologias obsoletas e tornam-se degradadores ambientais, (vídeo 1; vídeo 2 e vídeo 3).



Vídeo 1: Veja reportagem como funciona a coleta do ouro no norte brasileiro (Record)



Vídeo 2: <https://www.youtube.com/watch?v=cnLYldptc4Y>

1.1.3 Mercúrio

O mercúrio (Hg) é o principal reagente para a extração de ouro, mas seu uso indevido resulta em mais de 2.000 toneladas sendo liberadas no meio ambiente (UNEP, 2020). A AGM é a principal fonte antrópica de contaminação por mercúrio (Esdaile & Chalker, 2018) porém o uso de Hg na mineração é de uso limitado de acordo com o tratado internacional Minamata do PNUMA sobre Mercúrio, onde, seus signatários se comprometem reduzir e se possível erradicar o uso, comercio, ou quaisquer transferência deste para o ambiente mas segundo dados, os garimpeiros artesanais de ouro (AGM) brasileiros na Amazônia estão atualmente liberando mais de 100 toneladas / a de mercúrio no meio ambiente.

1.1.4 Cianeto

Em contraste com o mercúrio, que é altamente persistente no meio ambiente, o cianeto (CN) pode ser decomposto em formas menos tóxicas (Logsdon, Mark et al., 1999). A lixiviação de cianeto é atualmente o processo dominante usado pela indústria de mineração de ouro convencional para extrair ouro (e prata) por mais de 100 anos (SGS, 2018). método econômico e comprovadamente eficiente oferece recuperação máxima para vários minérios de ouro, incluindo minérios de baixo teor e refratários. Sua grande utilização se deve a sua ampla versatilidade e alta eficiência na extração de ouro (Gavin Hilson & Monhemius, 2006).

Comportamento humano e novo modelo de gestão dos recursos ambientais - Os principais desafios para mudar o comportamento dos mineiros artesanais são os poucos recursos econômicos dos mineiros e a falta de educação técnica para o uso de tecnologias mais limpas (Clifford, 2014), e dificultados pelo fato dos mineiros artesanais estarem dispersos em locais de difícil acesso. Muitos mineiros artesanais realizam suas atividades sazonalmente, durante os períodos de escassez de emprego nas áreas rurais. É essencial demonstrar a esses mineradores novas técnicas de extração de ouro de baixo custo e adaptáveis a áreas remotas. Essas técnicas devem ser consistentes com o afastamento das operações, simples de operar e ainda mais eficientes na extração de ouro do que amalgamação. Essas características abrem uma porta formidável para o uso de recursos naturais locais, por exemplo, aplicando tecnologias biológicas inovadoras para extração de ouro (Hernández-Allica et al., 2006).

1.1.5 Lixiviação de ouro com plantas cianogênicas Novas abordagens de aplicação

A biotecnologia tem sido amplamente utilizada na indústria de mineração, por exemplo, para oxidar sulfetos em minério refratário ao ouro com bactérias acidofílicas. O uso da biotecnologia na mineração se encaixa bem nos conceitos de desenvolvimento sustentável, pois muitas técnicas são adequadas para usuários locais e muitos materiais são renováveis. A inovação resultante da biotecnologia

tem importância fundamental para as cadeias produtivas, e a disseminação do conhecimento é um fator crítico para as transformações concretas das práticas inadequadas dos mineiros artesanais na Amazônia.

Algumas plantas cianogênicas da região amazônica já foram catalogadas em 1978 por (A. Diaz et al., 1978) (Quadro 1) no entanto, nenhuma aplicação foi abordado no estudo e (quadro 2) e (Rodrigues & Orlandelli, 2018) faz uma revisão teórica sobre o uso de plantas como ferramentas para a Remediação Ambiental

Quadro 1: conteúdo d HCN em gramíneas (A. Diaz et al., 1978)

	Nome científico	Mc HCN/Kg planta fresca
1.	<i>Axonopus compressus</i>	18
2.	<i>Brachiaria mutica</i>	10
3.	<i>Cynodon dactylon</i>	17
4.	<i>Eleusine indica</i>	43
5.	<i>Echinochloa spectabile</i>	16
6.	<i>Homolepis aturensis</i>	180
7.	<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	23
8.	<i>Oryza perennis</i>	16
9.	<i>Panicum chloroticum</i>	11
10.	<i>Panicum maximum</i>	16
11.	<i>Panicum pilosum var. subverticilatum</i>	10
12.	<i>Paspalum repens</i>	24
13.	<i>Paspalum conjugatum</i>	37
14.	<i>Penisetum purpureum</i>	31

Quadro 2: Conteúdo d HCN em outras plantas (A. Diaz et al., 1978)

<i>Hevea brasiliensis</i>	Seringueira
<i>Manihot spp.</i>	Mandioca
<i>Ouratea sp.</i>	-
<i>Passiflora coccinea</i>	Marracujá de rato
<i>Prunus myrtilifolia</i>	-
<i>Turnera hilaireana</i>	-
<i>Vismia cayenensis</i>	Lacre

1.1.6 Uma revisão de glicosídeos cianogênicos em plantas comestíveis

Trabalhos de (Bolarinwa et al., 2016) e também (K. Nyirenda, 2021) mostram revisão de glicosídeos cianogênicos em plantas comestíveis, esses compostos apresentam-se com frequência nas famílias botânicas Fabaceae, Rosaceae, Leguminosae, Linaceae e Compositae. existem aproximadamente 25 espécies cianogênicas conhecidas, foram identificados glicosídeos nas partes comestível de: maçãs, damascos, cerejas, pêssegos, ameixas (nas sementes) assim como amêndoas, pomóideas, mandioca, brotos de bambu, linhaça/semente de linhaça, limão feijão, inhame de coco, grão de bico e caju.

1.2.2 A MANDIOCA – PLANTA CIANOGENÉTICA AMAZONICA

1.2.2.1 Mandioca

A mandioca, como mais de 2.000 outras espécies de plantas, possui grandes quantidades de glicosídeos cianogênicos que se hidrolisam na água para formar cianeto e acetona livres (Jaszczak et al., 2017). Essa é uma alternativa a ser pesquisada como alternativa ao uso do mercúrio na AGM, podendo se tornar um produto de recursos biotecnológicos e tecnológicos da região amazônica em substituição ao mercúrio.

Glicosídeos cianogênicos nunca foram investigados como reagentes para lixiviar ouro. A Amazônia também possui uma grande variedade de plantas com esse potencial, a mandioca é um dos alimentos básicos da população. Existem cerca de 98 espécies de mandioca com diferentes níveis de glicosídeos cianogênicos. Casava, por exemplo, tem dois glicosídeos principais: 95% de Limarina e 5% de Lotaustralin. Com alta variabilidade genética influenciada por fatores edafoclimáticos, a mandioca possui a enzima Linamarase em suas paredes celulares, que quando a planta é esmagada, a linamarase reage com a linamarina formando glicose e cianidrina.

Em 2017, no Brasil, 706.652 toneladas de farinha de mandioca foram produzidas em 355.207 moinhos de farinha “casas de farinha” (IBGE, 2017). Os moinhos de farinha são muito rústicos no Brasil e a raiz descascada é triturada e prensada para eliminar 30% do líquido chamado “manipueira”. Nesse processo, a linamarina entra em contato com a enzima linamarase e, por hidrólise, o ácido cianídrico (HCN) é (Alexander Essers, 1994). O HCN (aq) pode ser volatilizado no pH natural de 5. A manipueira pode ser estabilizada em pH alcalino e o CN⁻ torna-se predominante. Alguma mandioca pode conter 2,4g de cianeto / kg de planta. Esses subprodutos metabólicos podem ser aplicados para lixiviar ouro.

Os principais problemas de saúde associados à dieta altamente rica em compostos cianogênicos, principalmente ao produtores e consumidores nas casas de farinha incluem: hipertiroidismo, resultante do metabolismo do tiocianato no metabolismo do iodo; neuropatia atáxica tropical, uma desordem neurológica; e konzo, uma paralisia rápida e permanente (Chisté, Cohen, & Oliveira, 2007)

1.2.2 A Química da mandioca: o que é metabólitos cianogênicos?

Os glicosídeos cianogênicos são compostos químicos que liberam cianeto de hidrogênio (HCN) e são comuns em certas famílias, como o Fabaceae, Rosaceae, Leguminosae, Linaceae, and Compositae (K. Nyirenda, 2021) nas plantas possuem funções reguladoras, protetoras e sanitárias. Glicosídeo ou (heterosídeos) compreende uma classe de substâncias químicas formadas pela união de moléculas de glicídeos, gliconas ou "oses" e um composto não glucídios, (aglicona), portanto por hidrólise com ácido, bases ou enzimas fornecem um ou mais açúcar, a parte não açúcar também é chamada de genina,

fisicamente são sólidos amorfos ou cristalinos, não voláteis, sabor amargo, solúveis em água e solventes orgânicos polares

Os glicosídeos cianogênicos ocorrem em aproximadamente 2000 espécies entre plantas, fungos, bactérias, esses compostos cianogênicos nas plantas, tem função de excreção, metabolismo de nitrogênio e defesa (Moraes et al., 2011) e está determinado por fatores fisiológicos (idade da planta, stress de água, nutrição mineral, sombreamento e espessura da casca), e, genéticos (polimorfismo genético) (Butler et al., 1973) contudo dentro de uma mesma espécie é possível encontrar plantas cianogênicas e acianogênicas, variando de lugar para lugar e de habitat para habitat (A. M. P. de Diaz et al., 1978).

A linamarina está presente em grandes quantidades nas folhas e na casca das raízes (900–2000 mg HCN e as folhas também contêm uma segunda enzima chamada hidroxinitrila liase, que catalisa a hidrólise da acetona cianoidrina para produzir HCN e acetona (Nhassico et al., 2008). a planta produz linamarase e também existe microrganismos que potencializam essa enzima linamarase (Ogbonnaya, 2016)



Figura 0:1: Partes da célula vegetal em que os metabólitos secundários são produzidos (Ram Dixit, Elizabeth Haswell, 2020) e (Bruno Nery, 2015)

1.2.3 Linamarina e lotaustralina

Segundo (SILVA, 2016) a linamarina foi isolada em 1906, em 1965 foi evidenciado que a maioria das plantas que continham linamarina apresentavam também a metil linamarina ou Lotaustralina e em 1968, que a linamarina e lotaustralina constituíam o material cianogênico da mandioca). o linamarina e lotaustralina estão presente na raiz na (proporção de 93:7), após ruptura da estrutura celular da raiz, entram em contato com as enzimas presentes (linamarase) degradando estes compostos, liberando

ácido cianídrico (HCN) (CAGNON et al., 2002) sendo que o pH também determina a atividade das enzimas no momento da dilaceração(SILVA, 2016).

Depois da trituração ou maceração da mandioca a enzima linamarase cliva a linamarina e a lotaustralina, e imediatamente liberam HCN (NOK e IKEDI OBI, 1990). Após a hidrólise da linamarina há a formação da ludraxinitrila e glicose que é decomposta espontaneamente pela ação da hidroxinitrilalase a cianeto e acetona. Convencionou-se que a atividade da linamarase é o ponto limite na cianogênese (Figura 1).

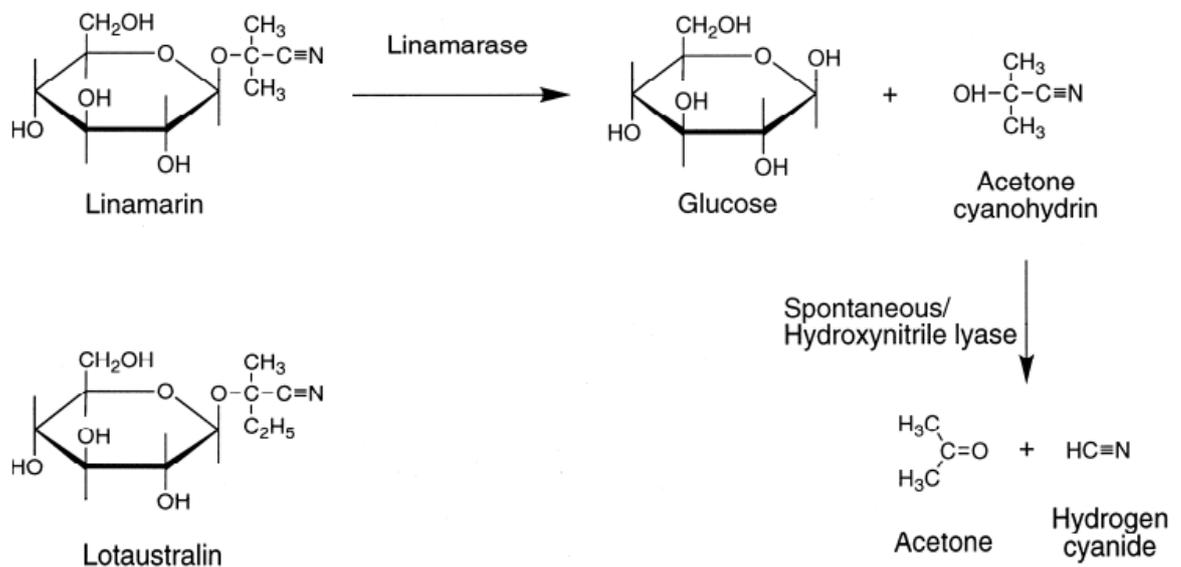


Figura 0:2: Quebra de glicosídeos cianogênicos de mandioca por linamarase (adaptado) (Qin et al., 2021) (Qin et al., 2021)

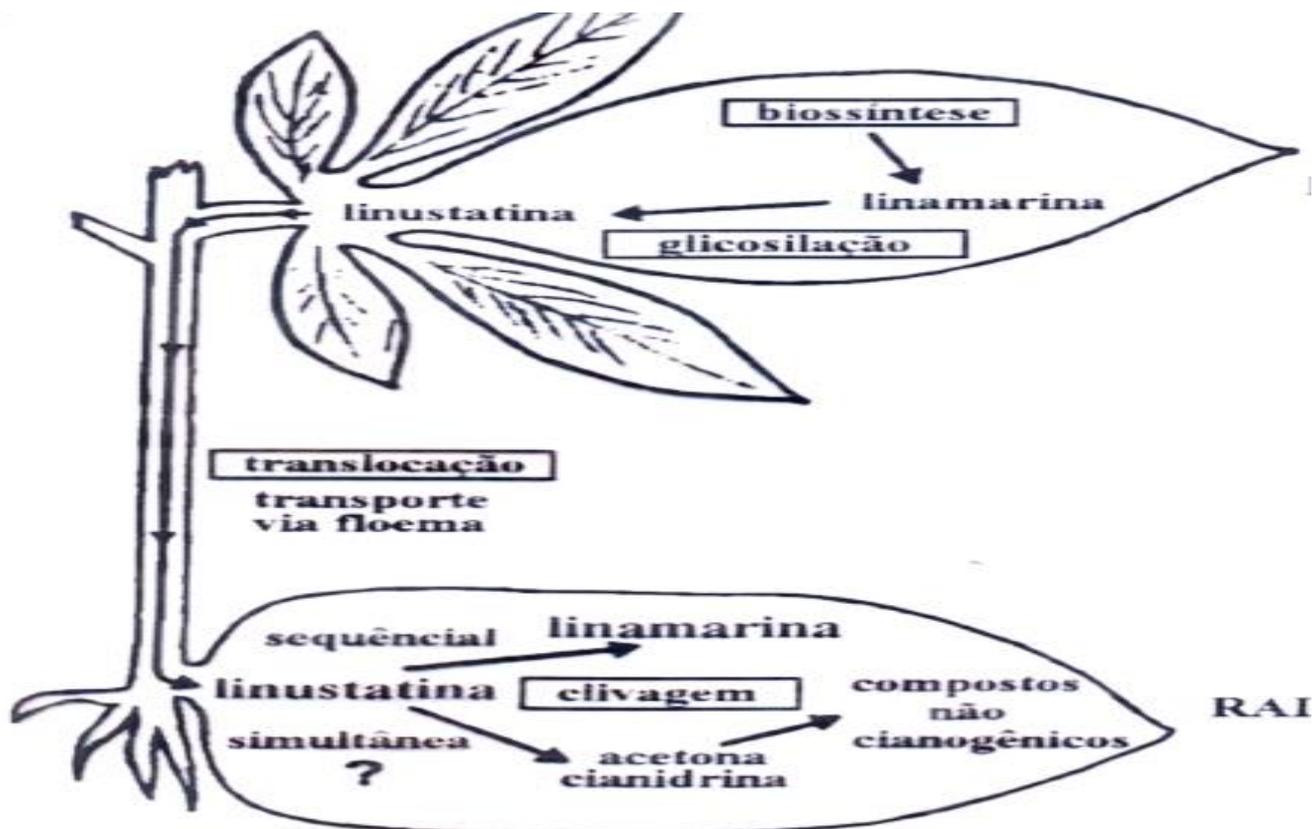


Figura 0:3: Formação dos compostos cianogênicos na mandioca - Produção e distribuição de Linamarina (Bruno Nery, 2015).

(Cock, 2019; McMohan et al., 1995; Wheatley et al., 1993) acreditam que acontece variação da atividade enzimática nos diferentes tecidos da planta, sendo as folhas e cascas as que possuem maior atividade, justamente onde são encontradas as maiores quantidades de glicosídeos cianogênicos. Estes são sintetizados e armazenados nos vacúolos foliares, e acredita-se que posteriormente atravessam a parede celular e se deslocam até a raiz dos tecidos vegetais das raízes de mandioca.

A dilaceração dos tecidos vegetais das raízes de mandioca pelo atrito do processamento faz com que os glicosídeos cianogênico linamarina presente sejam clivado em glicose e acetonacianidrina pela ação da a enzima (linamarase) e posteriormente que a acetonacianidrina seja convertida em HCN e acetona (Chisté, Cohen, & Oliveira, 2007)

Tabela 1: Distribuição da linamarina e atividades da linamarase em diferentes partes da planta

Parte da planta	Variedade			
	A13		TA25	
	linamarina	Linamarase	Linamarina	Linamarase
	ppm	ugHCN/min	ppm	ugHCN/min
Folhas				
jovens	330	450	490	600
velhas	210	150	320	10
Pecíolos				
jovens	750	1150	770	350
velhas	110	600	170	300
Hastes				
jovens	350	170	550	130
velhas	680	15	900	0
Casca da haste	370	120	810	0
Casca da raiz	540	480	890	160
Polpa da raiz	55	13	210	6

Fonte : (de Bruijn, 1971)



Vídeo 3: A química da liberação do Cianeto nos produtos da mandioca – (EMBRAPA 2022)

As partículas de ouro expostas entram em contacto com um agente oxidante forte por exemplo o oxigênio, ozônio, peróxido, etc. dissolvendo ouro como um complexo de cianeto: $4\text{Au} + 8\text{CN}^- + \text{O}^2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Au}(\text{CN})_2^- + 4\text{OH}^-$ in neste processo a estabilidade do cianeto livre (HCN ou CN^-) depende de o

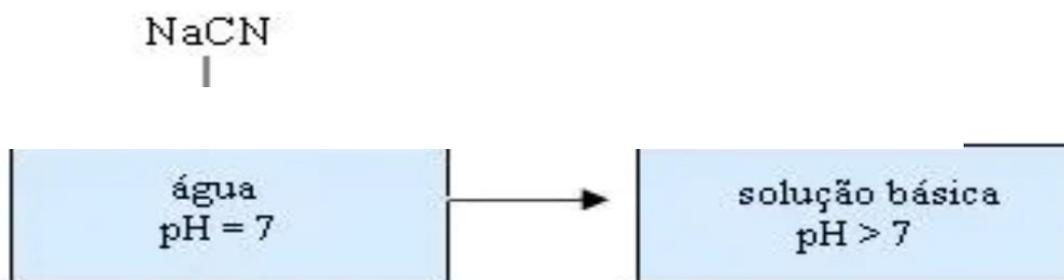
pH (Aliprandini et al., 2020). Neste estudo, será investigada a possibilidade do uso de mandioca e outras plantas cianogênicas com potencial para dissolver ouro. Testes preliminares na UBC usando um minério da Colômbia da operação de mineração artesanal, revelaram que 50% do ouro pode ser solúvel em 24 h com manipueira em pH 10,5.

Testes laboratoriais preliminares usando extratos de mandioca do Brasil com 267 ppm de cianeto livre resultaram em recuperações de ouro promissoras entre 50 e 60% de um minério de alto teor com 49 ppm de Au (Torkaman et al., 2021) Os autores destacaram a necessidade de investigação de espécies de mandioca com maiores teores de glicosídeos e condições para gerar mais cianeto ao longo do tempo.

1.2.4 Cianetação para recuperação do ouro

O processo de esmagamento e prensagem da mandioca amarga para a produção da farinha produz um subproduto denominado “manipueira” (líquido viscoso). A manipueira gera por hidrólise ácido cianídrico (HCN) (Alexander Essers, 1994) que pode ser estabilizado em pH's alcalinos. Alguma mandioca pode conter 2,4g de cianeto / kg de planta. Esses subprodutos metabólicos podem ser aplicados para lixiviar ouro. As partículas de ouro expostas entram em contacto com um agente oxidante forte, e, oxigênio, ozônio, peróxido, etc. dissolvendo ouro como um complexo de cianeto: $4\text{Au} + 8\text{CN}^- + \text{O}^2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Au}(\text{CN})_2^- + 4\text{OH}^-$ neste processo a estabilidade do cianeto livre (HCN ou CN^-) depende do pH (Aliprandini et al., 2020). Neste estudo, foi investigada a possibilidade do uso de mandioca e outras plantas cianogênicas com potencial para dissolver ouro outros usos de remoção de cianeto de efluente galvânico, recuperação e reuso de metais e água (Portalts 2022)

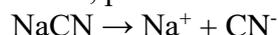
Figura 0:4: Hidrólise salina de ácido fraco e base forte (Souza, 2022)



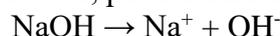
Segue as reações de dissociação do sal (separar o cátion do ânion)

Dissociar a base forte ($\text{COH} \rightarrow \text{C}^+ + \text{OH}^-$)

• NaCN, por ser sal solúvel, encontra-se dissociado:



• NaOH, por ser base forte, encontra-se dissociada:



Os produtos da reação são:

NaOH (hidróxido de sódio): base forte

HCN (ácido cianídrico): ácido fraco

1.2.4.1 Lixiviação de ouro com o uso do cianeto de sódio (NaCN)

O uso do cianeto de sódio (NaCN) diluído em água, até hoje, é o método favorito da grande maioria das mineradoras do mundo, pois tem a capacidade de oxidar e dissolver o ouro produzindo um sal solúvel a base de ouro, sendo o ouro posteriormente adsorvido em filtros de carvão ativado, extraído, purificado e fundido. O uso da cianetação nas minas é extensivo e a produção mundial de cianeto de sódio supera as 500.000 toneladas ao ano, infelizmente o cianeto de sódio é um composto altamente tóxico e pode ser letal ao homem e ao meio ambiente. (Jacobi, 2015)

O cianeto é facilmente oxidável quando exposto ao meio ambiente e a certos minerais e compostos químicos, chamados, apropriadamente de cianicidas, é por isso que na cianetação a mistura tem que ser constantemente regenerada, recebendo adição de cianeto e cal para não perder o efeito, este processo de regeneração é o principal custo da maioria das minas, custo esse que aumenta na presença do ar, do cobre e de materiais carbonosos (Aristizábal-H et al., 2017; Jacobi, 2015).

O cianeto quando jogado no meio ambiente tende a se oxidar em alguns dias, formando o cianato um produto menos tóxico que reage com carbonatos e é posteriormente neutralizado. (M M Veiga & Meech, 1995) (Jacobi, 2015)



Figura 0:1: Processo de cianetação utilizado em Peixoto de Azevedo – Mato Grosso Fonte: O autor



Vídeo 4: : Processo de lixiviação para extrair ouro | Febre do Ouro: O Desafio de Parker | Discovery Brasil (Youtube) Observação: Assistir a partir de 6:30 minutos

1.3 Justificativa

Aproximadamente 28 milhões de pessoas vivem somente na Amazônia brasileira e dependem dos recursos naturais da região. A abordagem aqui discutida representa uma possibilidade de utilização do conhecimento científico e empíricos no fornecimento de soluções ambientais e sociais para o problema do mercúrio. Se as plantas locais puderem ser usadas como fonte de cianeto para fins de lixiviação de ouro, isso pode ser um passo importante para um processo mais econômico, eficiente em métodos de recuperação de ouro pequeno e ambientalmente sustentável. Com uma gestão cuidadosa e protocolos para controlar os efeitos do cianeto no meio ambiente e nas pessoas, esta proposta pretende fornecer aos mineiros artesanais locais um método para minimizar e até eliminar o uso do mercúrio. O estudo de plantas cianogênicas, além de sua importância local e regional, pode contribuir para o aumento de valor na cadeia produtiva.

1.4 OBJETIVO GERAL :

Esta pesquisa teve por objetivo geral acessar diferentes tipos de variedades de mandioca - planta cianogênica da região amazônica, acessar, extrair e quantificar a geração de diferentes níveis de glicosídeos cianogênicos e cianeto livre das raízes; fazer um estudo preliminar da potencialidade uso da manipueira ao mercado na Amazônia brasileira.

1.4.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Objetivos do Capítulo I

Revisão da literatura e levantamento teórico dos aspectos gerais da aplicação da biotecnologia para a mineração e as novas perspectivas biotecnológicas para a mineração artesanal

Screening das concentrações de cianeto livre em diferentes variedade de mandiocas da Amazônia

Definição de protocolo para extração de cianeto

Objetivos do Capítulo II

Proposta de modelo alternativo pra bioeconomia (econômica verde) da Amazonia considerando perspectivas de aptidão natural da região geográfica e reprodução de ecotecnologia para uso na mineração como proposta de mitigação/erradicação de mercúrio, considerando baixo custo de implantação, potencial fitorremediação e estabilidade das moléculas (Cianeto estável em estado líquido)

CAPITULO I

Este capítulo está sendo editado para publicação na MDPI



Multidisciplinary Digital Publishing Institute Journal
<https://www.mdpi.com/journal/sustainability>



2. ERRADICAÇÃO DO MERCÚRIO NA AMAZÔNIA – CIANETO “VERDE” A PARTIR DA MANDIOCA COMO ALTERNATIVA AO MERCÚRIO EM MINERAÇÃO ARTESANAL E PEQUENA ESCALA (ASM)

RESUMO

A mineração artesanal de ouro (AGM sigla em inglês) é uma atividade mundial (mais de 70 países) que inclui cerca de 20 milhões de garimpeiros e produz até 450 toneladas/ano de. É essencial demonstrar a esses mineradores novas técnicas de extração de ouro de baixo custo e adaptáveis a áreas remotas, essas técnicas devem ser simples de operar e ainda mais eficientes na extração de ouro do que o modo convencional com mercúrio. Ao contrário do mercúrio, que é altamente persistente no meio ambiente, o cianeto (CN) é volátil e não oferece risco de acúmulo ambiental, e para tal, a lixiviação de ouro com plantas cianogênicas se apresentam com novas abordagens de aplicação, o extrato de mandioca, líquido chamado “manipueira” tem potencial uso como fonte de cianeto para fins de lixiviação de ouro. A pesquisa foi realizada em duas fases. Na primeira fase da pesquisa, foram realizadas as buscas e coletas de variedades de mandiocas oriundas de diferentes regiões geográficas do norte e nordeste do Brasil. Foi feito Screening das concentrações de cianeto livre em diferentes variedades de mandiocas da Amazônia utilizando a análise de cianeto livre - CN com o kit colorimétrico Chemetrics (figura 2). Na segunda fase foi realizada a análise da influência do pH na estabilização do CN livre das mandiocas em dois experimentos, denominados Experimento A: (utilizando carbonato de sódio (Na_2CO_3) para estabilização do pH da manipueira) e Experimento B: (não utilizando nenhum reagente na manipueira). O resultado demonstrou que o experimento B alcançou altos níveis de cianeto livre e maior estabilidade ao longo do tempo quando comparado ao Experimento A, em condições similares de experimento.

2.1 INTRODUÇÃO

A mineração artesanal de ouro (AGM sigla em inglês) é uma atividade mundial (mais de 70 países) que inclui cerca de 20 milhões de garimpeiros e produz até 450 toneladas/ano de ouro (Seccatore et al., 2014). O mercúrio (Hg) é o principal reagente para extração de ouro em explorações artesanais, mas seu uso indevido pode ter resultado na liberação de mais de 2.000 toneladas/ano no meio ambiente (UNEP, 2020). AGM é a principal fonte antrópica de contaminação por mercúrio (Esdaile & Chalker, 2018)

Os principais desafios para mudar o comportamento dos garimpeiros artesanais são a escassez de recursos econômicos dos garimpeiros e a falta de educação técnica para o uso de tecnologias mais limpas

(Clifford, 2014; Smith et al., 2018), isto é dificultado pelo fato dos garimpeiros artesanais estarem dispersos em locais de difícil acesso, isto é explicado pela rigidez locacional da atividade minerária (Marcello Mariz da Veiga et al., 2002). E ainda, muitos garimpeiros artesanais realizam suas atividades sazonalmente durante períodos de escassez de emprego nas áreas rurais (G. Hilson et al., 2016). É essencial demonstrar a esses mineradores novas técnicas de extração de ouro de baixo custo e adaptáveis a áreas remotas (Holley et al., 2020; Smith et al., 2018; Marcello M Veiga & Fadina, 2020). Essas técnicas devem ser consistentes com o afastamento das operações, simples de operar e ainda mais eficientes na extração de ouro do que na amálgama com mercúrio (Marcello M. Veiga et al., 2014; Marcello M Veiga & Fadina, 2020). Essas características abrem uma porta formidável para o uso de recursos naturais locais, por exemplo, aplicando tecnologias biológicas inovadoras para extração de ouro (Hernández-Allica et al., 2006).

Ao contrário do mercúrio, que é altamente persistente no meio ambiente, o cianeto (CN) é volátil e não oferece risco de acúmulo ambiental (Logsdon, Mark et al., 1999). A lixiviação com cianeto é atualmente o processo dominante usado pela indústria de mineração de ouro convencional para extrair ouro (e prata) por mais de 100 anos (SGS, 2018). Este método econômico e comprovadamente eficiente oferece recuperação máxima para vários minérios de ouro, incluindo minérios de baixo teor e refratários. Sua grande utilização se deve a sua ampla versatilidade e alta eficiência na extração de ouro (Gavin Hilson & Monhemius, 2006).

2.1.2 LIXIVIAÇÃO DE OURO COM PLANTAS CIANOGENICAS NOVAS ABORDAGENS DE APLICAÇÃO

A biotecnologia tem sido amplamente utilizada na indústria de mineração (Garcia & Molina, 2011), por exemplo, para oxidar sulfetos em minério refratário a ouro com bactérias acidófilas (Baltz, 2017). O uso da biotecnologia na mineração se encaixa bem nos conceitos de desenvolvimento sustentável, pois muitas técnicas são adequadas para usuários locais e muitos materiais são renováveis (Baena & Mendoza, 2021; Salas-Banuet et al., 2012). A inovação resultante da biotecnologia tem importância fundamental para as cadeias produtivas, e a disseminação do conhecimento é fator crítico para o abandono fático das más práticas empregadas pelos garimpeiros artesanais na Amazônia (Hentschel et al., 2002; Siegel & Veiga, 2009). Estimasse que os garimpeiros artesanais de ouro na Amazônia estejam liberando mais de 100 toneladas/ano de mercúrio no meio ambiente (Telmer & Veiga, 2009). Qualquer processo para reduzir ou eliminar o uso de mercúrio deve ser simples, eficiente e acessível (Cleary & Cleary, 1990), visto que, há mais de 40 anos pesquisadores e agências internacionais investigam métodos e abordagens para convencer os garimpeiros a adotarem outra técnica de extração de ouro (Marcello M Veiga & Fadina, 2020) Isso tem sido frustrante e a quantidade de mercúrio usada e

perdida no ambiente amazônico vem aumentando, mas as investigações não podem ser interrompidas e diferentes abordagens devem ser adotadas (Marshall & Veiga, 2017).

A mandioca, como mais de 2.000 outras espécies de plantas, possui grandes quantidades de glicosídeos cianogênicos que se hidrolisam na água para formar cianeto e acetona livres (Jaszczak et al., 2017). Esta é uma opção a ser pesquisada como alternativa ao uso do mercúrio em AGM, podendo se tornar um produto dos recursos biotecnológicos e tecnológicos da região amazônica em substituição ao mercúrio.

Os glicosídeos cianogênicos é potencialmente um reagente para lixiviar ouro. A Amazônia também possui uma grande variedade de plantas com esse potencial, a mandioca é um dos alimentos básicos da população. Existem cerca de 98 espécies de mandioca com diferentes níveis de glicosídeos cianogênicos. A Casava, por exemplo, possui dois glicosídeos principais: 95% de Limarina e 5% de Lotaustralina. Com alta variabilidade genética influenciada por fatores edafoclimáticos, a mandioca possui em suas paredes celulares a enzima linamarase, que quando a planta é esmagada, a linamarase reage com a linamarina formando glicose e cianidrina.

2.1.3 TEORIA DE LIXIVIAÇÃO DE OURO COM MANIPUEIRA

Em 2017, no Brasil, foram produzidas 706.652 toneladas de farinha de mandioca por 355.207 moinhos de farinha - “casas de farinha” Os moinhos de farinha são bem rústicos no Brasil e a raiz descascada é triturada e prensada para eliminar 30% do líquido chamado “manipueira”. Nesse processo, a linamarina entra em contato com a enzima linamarase e, por hidrólise, o ácido cianídrico (HCN) é gerado (Alexander Essers, 1994). O HCN (aq) pode ser volatilizado em pH natural de 5. A manipueira pode ser estabilizada em pH alcalino e CN⁻ torna-se predominante. Algumas mandiocas podem ter 2,4g de cianeto/kg de planta. Esses subprodutos metabólicos podem ser aplicados para lixiviar ouro. As partículas de ouro expostas entram em contacto com um agente oxidante forte, por exemplo: oxigênio, ozônio, peróxido, etc. dissolvendo ouro como um complexo de cianeto: $4\text{Au} + 8\text{CN}^- + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Au}(\text{CN})_2^- + 4\text{OH}^-$ neste processo a estabilidade do cianeto livre (HCN ou CN⁻) depende de o pH (Aliprandini et al., 2020) conforme Figura 1.

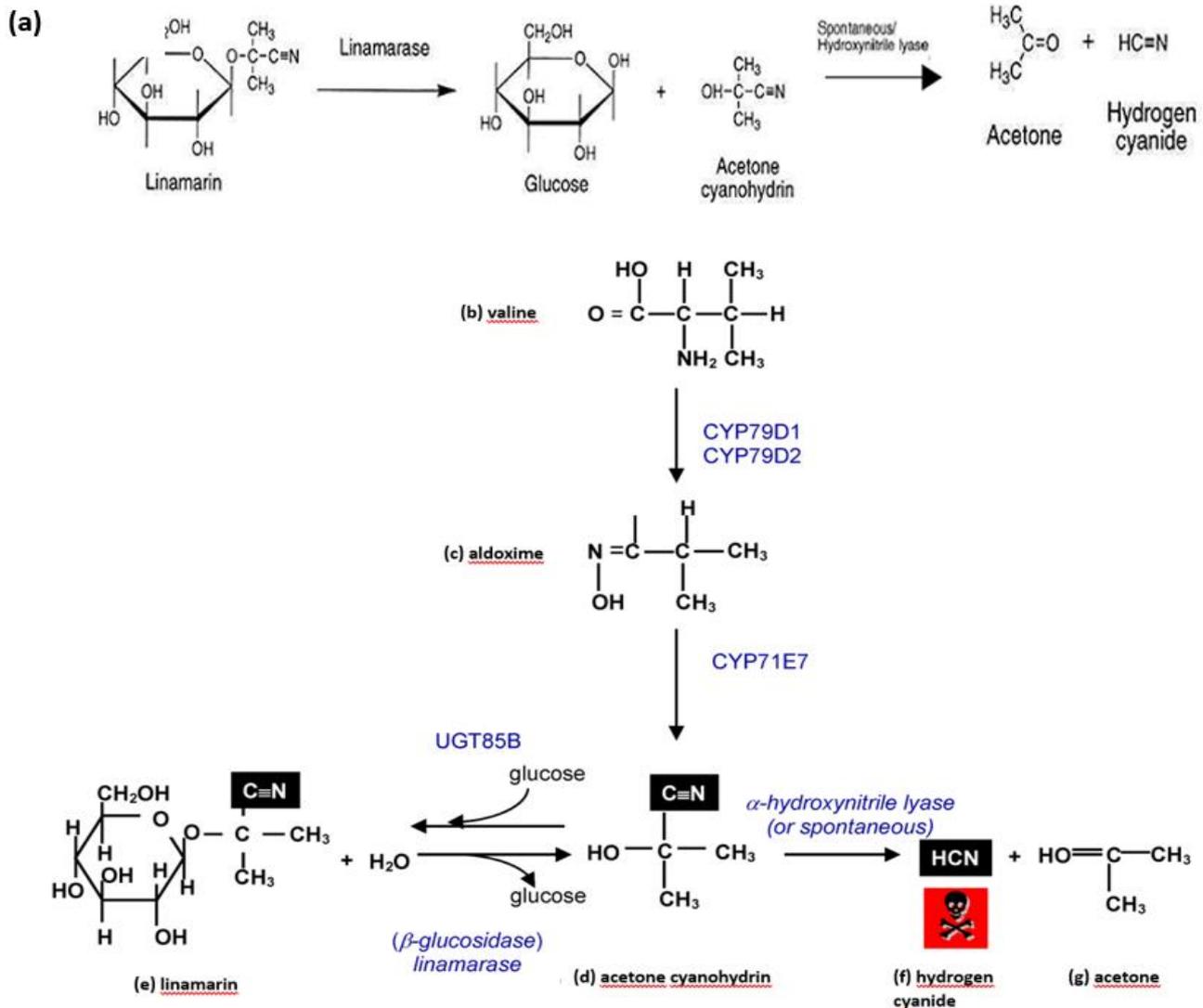


Figura 1: a - Esquema simplificado da hidrólise da linamarina para síntese de Cianeto de hidrogênio (Bolarinwa et al., 2016), 1b The biosynthetic pathway for the production of linamarin, the primary cyanogenic glycoside in cassava (b–e), and subsequent degradation to cyanide and acetone (e–g). The first committed synthetic step is catalysed by one of two P450 enzymes (CYP79D1 and D2) (Jørgensen et al., 2005) to form an oxime (c). The oxime is then converted to a cyanohydrin (d), catalysed by another P450 (CYP71E7) (Solomonson, 1981) and then stabilised by a glucosidic bond, in a reaction catalysed by a glucosyltransferase (UGT85B). Cyanogenesis is the process whereby the cyanogenic glycoside (here, linamarin) comes into contact with a specific β -glucosidase (e.g., linamarase); glucose is released and the unstable α -hydroxynitrile (d) disassociates (either spontaneously or in the presence of α -hydroxynitrile lyase), releasing a ketone (acetone) and hydrogen cyanide, which is toxic (Solomonson, 1981) Diagram is adapted from (Møller, 2010) and (Jørgensen et al., 2005).

2.1.4 EXTRATO DE MANDIOCA – OUTRAS INFORMAÇÕES

Aproximadamente 28 milhões de pessoas vivem apenas na Amazônia brasileira e dependendo dos recursos naturais da região (Piquet et al., 2020). A abordagem aqui discutida representa uma possibilidade da utilização do conhecimento científico e tradicional para fornecer soluções ambientais e sociais para o problema do mercúrio (Bansah et al., 2016; Seccatore & de Theije, 2017). O potencial uso de plantas locais com fonte de cianeto para fins de lixiviação de ouro, pode ser um passo importante para um processo mais econômico e eficiente em métodos de recuperação de ouro de pequeno porte (Torkaman et al., 2021). Com gestão cuidadosa e protocolos para controlar efeitos do cianeto ao meio ambiente e às pessoas, esta proposta pretende fornecer aos garimpeiros artesanais locais um método para minimizar e até eliminar o uso de mercúrio (Torkaman et al., 2021).

O estudo de plantas cianogênicas, como a mandioca, além de sua importância local e regional, podem contribuir para o aumento de valor na cadeia produtiva de alimentos a partir de sua biomassa (FAO, 2022), além de gerar valor agregado subprodutos anteriormente descartados como rejeitos (A. E. Burns et al., 2012; Torkaman et al., 2021). Para isso são necessárias pesquisas no sentido de: 1 – acessar diferentes tipos de plantas cianogênicas da região amazônica; 2 – acessar os níveis de glicosídeos cianogênicos e a geração de cianeto livre; 3 – extração de cianeto livre das folhas, caules e outras partes das plantas; 4 – testar os glicosídeos cianogênicos lixiviando ouro.

Testes utilizando manipueira na Colômbia de uma operação de mineração artesanal, revelaram que 50% do ouro pode ser solúvel em 24 h com manipueira em pH 10,5 e laboratoriais preliminares usando extratos de mandioca do Brasil com 267 ppm de cianeto livre resultaram em recuperações de ouro promissoras entre 50 e 60% de um minério de alto teor com 49 ppm de Au (Torkaman et al., 2021) 2021). Os autores destacaram a necessidade de investigação de espécies de mandioca com maiores teores de glicosídeos e condições para gerar mais cianeto ao longo do tempo.

Este artigo justifica-se à medida que os benefícios desse conhecimento podem compreender a dinâmica para favorecer os mineradores Artesanais: 1 – Aborda e fornece uma alternativa eficaz para as preocupações globais da mineração artesanal quanto ao uso de mercúrio; 2 – diminui os riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente do uso de mercúrio para extração de ouro na mineração artesanal; 3 – contribui para questões de saúde humana nas economias em desenvolvimento.

Para empresas os benefícios desse estudo se aplicam para: 1 – fornecer um lixiviante alternativo (a partir de fontes de plantas locais) para pequenas operações; 2 – desenvolvimento de métodos simplificados de extração de ouro de minérios de concentrações variáveis; 3 – os potenciais benefícios do uso de resíduos vegetais, após a extração de ouro para restauração do local (corretivos orgânicos para reestabelecimento da vegetação como fonte de remediação)

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em duas fases:

Primeira fase da pesquisa (Fase 1)

Na primeira fase da pesquisa, foram realizadas as buscas e coletas de variedades de mandiocas oriundas de diferentes regiões geográficas do norte e nordeste do Brasil.

Busca e coletas de variedades de mandiocas para fazer *screening* e quantificação do cianeto de mandioca com altos teores de glicosídeos oriundas de regiões geográficas (Figura 4, 5 e 6) com diferentes fatores edafoclimáticos – fatores que afetam a formação de cianeto em mandioca

Na segunda fase da pesquisa (Fase 2) – Análise da influência do pH na estabilização do CN livre das mandiocas e geração de cianeto em função do tempo.

Experimento A: (houve estabilização inicial da manipueira utilizando carbonato de sódio (Na_2CO_3)).

Experimento B: (não houve estabilização da manipueira, procedeu-se os testes utilizando o Ph natural – 6,5).

Nesta segunda etapa buscou-se análise da Influência do pH na estabilização do CN livre das mandiocas; cinética da formação do CN livre em função do tempo na manipueira (Amostragem de mais espécies estressadas pelo excesso de água, expandir o número de horas de testes, para criar **protocolos** viáveis economicamente para testes de concentração e extração de CN da manipueira).

Para determinar o teor de cianeto nas mandiocas foram utilizados kit colorimétrico para análise de CN livre in situ. (Figura 2).

As análises de cianeto livre com o kit colorimétrico Chemetrics foram realizadas em campo e em casa de farinha Figura 5. nos Estados visitados, com base nas informações dos agricultores sobre a toxicidade de determinadas espécies, para cada teste utilizando o Kit colorimétrico para análise de CN livre foram realizados os seguintes procedimentos: esmagamento da raiz, prensagem da massa para obtenção da manipueira.; Filtragem da manipueira ; Ajuste para o pH 10,5 em seguida uma amostra do líquido foi utilizada juntamente com os reagentes e aguardado 10 minutos para obter os resultados.

a**FASE 1: PESQUISA DE CAMPO PARA COLETA DE MANDIOCA DE ALTO TEOR DE CIANETO LIVRE**

Busca e coletas de variedades de mandiocas para fazer screening e quantificação do cianeto de mandioca com altos teores de glicosídeos oriundas de regiões geográficas (Figura 6, 7 e 8) com diferentes fatores edafoclimáticos – fatores que afetam a formação de cianeto em mandioca

**REGIÃO NORTE DO BRASIL**

Alto índice de umidade o ano inteiro

REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Baixo índice de umidade por

b**FASE 2: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PH NA ESTABILIZAÇÃO DO CN LIVRE DAS MANDIOCAS****EXPLICAÇÃO**

Foi feito o estudo da cinética da formação do CN free em função do tempo na maniveira (Amostragem de mais espécies estressadas pelo excesso/falta de água, expandir o número de horas de testes, para criar **protocolos** viáveis economicamente para testes de concentração e extração de CN da maniveira).

**EXPERIMENTO A**

Os experimentos foram realizados com o pH natural da maniveira da mandioca (pH 6,5)

EXPERIMENTO B

Os experimentos foram realizados Ajustando o pH da mandioca (pH 10,5).

Figura 2: Fluxograma da metodologia – (a), fase 1- pesquisa de campo para coleta de mandioca de alto teor de cianeto livre; (b), fase 2 - análise da influência do ph na estabilização do CN livre das mandiocas, este experimento foi dividido em Experimento “A” e Experimento “A”; (c) Etapas da preparação para análise da maniveira com kit colorimétrico; (d) Kit colorimétrico para análise de CN livre <https://www.chemetrics.com/product-category/test-kits/cyanide-free/>

C**DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CIANETO NAS MANDIOCAS UTILIZANDO KIT COLORIMÉTRICO PARA ANÁLISE DE CN LIVRE *in situ*.**

Etapas da preparação para análise da manipueira com kit colorimétrico

Coleta de mandioca



Esmagamento das raízes



Filtragem da manipueira



Adição de estabilizador para ajuste de pH (experimento A)



Adição dos reagentes do kit colorimétrico para análise de CN livre



Aguardar 10 minutos e fazer a leitura com os comparadores de colorimétricos

**d****Kit colorimétrico Chemetrics**

Figura 2: Fluxograma da metodologia – (a), fase 1- pesquisa de campo para coleta de mandioca de alto teor de cianeto livre; (b), fase 2 - análise da influência do ph na estabilização do CN livre das mandiocas, este experimento foi dividido em Experimento “A” e Experimento “A”; (c) Etapas da preparação para análise da manipueira com kit colorimétrico; (d) Kit colorimétrico para análise de CN livre <https://www.chemetrics.com/product-category/test-kits/cyanide-free/> Fotos: O autor

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Primeira fase da pesquisa

Na primeira fase da pesquisa, foram realizadas as buscas e coletas de variedades de mandiocas oriundas de diferentes regiões geográficas do norte e nordeste do Brasil. Tanto a região norte quanto a região nordeste apresenta clima e estações anuais bem definidos e distribuído de maneira uniforme durante todo o ano.



Figura 3: Local de processamento da mandioca para produção de farinha denominado - casa de farinha
Fotos: O autor

2.3.1.1 A Região Norte do Brasil

O este solo é classificado em Argissolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa (Silva 2015) A classificação do clima de Manaus-AM é Af - clima equatorial úmido, com temperatura média de 27,4 °C. e precipitação anual de 2145 mm com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano, sem estação seca definida. Agosto é o mês mais seco, com 56 mm de precipitação e o mês mais quente do ano, com temperatura média de 28,2 °C. Março é o mês de maior precipitação, com média de 295 mm. A temperatura mais baixa de todo o ano é em janeiro, com média de 26,9 °C (Lima et al., 2017).

2.3.1.2 Região Nordeste do Brasil

Na Região Nordeste é possível identificar três tipos de climas: tropical, semiárido e equatorial úmido. O primeiro possui elevadas temperaturas e duas estações bem definidas, sendo uma seca e uma

chuvosa, os índices pluviométricos anuais oscilam entre 1.800 a 2.000 mm e temperaturas que variam entre 24°C e 26°C. O segundo possui temperaturas elevadas e chuvas irregulares, essa característica climática faz com que as áreas influenciadas sejam secas devido aos longos períodos de estiagem e no terceiro existe a predominância de uma grande umidade relativa do ar, além disso, demonstra elevadas temperaturas com chuvas regulares durante todo o ano. (Araújo, 2011; Eduardo de Freitas, 2022).

O Semiárido Brasileiro é composto por 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Os critérios para delimitação do Semiárido foram aprovados pelas Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017.

Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50; Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2021).

Após a aquisição das mandiocas foram feitas triagem e quantificação do cianeto presente nelas (mandioca) onde, possivelmente os fatores ambientais e edafoclimáticos (estresse hídrico, alta e baixa umidade relativa do ar dentre outros) atuaram de forma direta em cada genótipo fazendo com que a interação genótipo versus ambiente pudesse ser manifestados em metabólitos secundários em resposta ao ambiente.

A mandioca brava ou amarga cultivada em ambientes com muita variação ambiental pode favorecer a geração de altos níveis de CN livre por meio das suas atividades bioquímicas. Sabe-se que o estresse hídrico devido à baixa pluviosidade, muito sol ao longo do ano e baixa tecnologia no cultivo podem aumentar os glicosídeos cianogênicos na mandioca.

A primeira região é Norte do Brasil nos estados Estado de Pará e Amazonas (Figura 4) mapas de umidade). que apresenta altos níveis de umidade relativa do ar e a segunda é a região nordeste nos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe principalmente em áreas secas (Figura 5)

Observou-se que à medida que os teores de CN livre gerados pelas amostras de mandioca coletadas aumentaram com a redução da umidade do ar de (91%) no Amazonas para (84%) no Maranhão, houve um aumento significativo nas concentrações de cianeto na mandioca mesmo nas mandiocas de uma mesma variedade (Tabela 1).

Os compostos de cianeto podem causar inflamação da tireoide em seres humanos que consomem grandes quantidades de mandioca amarga, Projetos de pesquisa em saúde apontam que no Estado do Amazonas existem locais com habitantes com alta incidência de problemas de tireoide (ex: São Paulo de Olivença e Santa Isabel Rio Negro).

Genótipos de mandioca foram coletados nos 11 estados brasileiros (Figura 6) e classificados. A análise in situ com kits colorimétricos identificou o CN livre gerado por cada amostra. Os genótipos de interesse (que tiveram concentração acima de 300 ppm) estão incluídos na tabela 1, nos respectivos estados do Brasil.

O teor de manípueira encontrado nas raízes depois de prensado foi de 30% em relação a massa.

Outras pesquisas foram realizadas no Brasil para detectar os níveis de CN livre em mandioca, região nordeste do Brasil para foram realizadas por (Torkaman et al., 2021) e na região amazônica por (Araújo et al., 2019), cujo teor de CN variou entre 300 e 50 a 100 ppm, respectivamente.

O pH médio encontrado em manípueira de em diferentes acessos de mandioca é de 6,5, resultado semelhante ao experimento realizado por (Araújo et al., 2019) em diferentes acessos de mandioca da Amazônia no Brasil, que variou de pH 5,77 a 6,78 e teve média de 6.36, na condução do experimento não houve controle da variação do pH em função do tempo.

Tabela 1: Locais em que foram coletados mandiocas e variedades genótipos

Nome comum (variedades)	Código do genótipo	ppm	Cidade
alagoana	rr1	250	Canudos - BA
alagoana	rr2	350	Teixeira - PB
branquinha	rr2	450	Monte Santo – BA
rustico	rr4	325	Canudos - BA
alagoana	rr5	750	Princesa Isabel - PB
grelo roxo	rr6	900	Itaituba - PA
jabiti, jurara	rr7	5	Rio Preto da Eva-AM
manivão	rr8	5	Rio Preto da Eva - AM
joana forra	rr9	7	Marapanin - PA
branquinha	rr10	110	Santa Inês - MA
santim	rr11	120	Cocal - PI
brs formosa	rr12	50	Pripirí – MA
baianinha	rr13	70	Barreirinha - BA
trouxinha	rr14	45	Barreirinha - BA
pretinha	rr15	60	Inhaúmas - BA
milagrosa	rr16	55	Inhaúmas - BA
são pedro	rr17	52	Inhaúmas BA
jaririnana	rr18	75	Nossa senhora da gloria - SE
cambadena	rr19	49	Nossa senhora da gloria - SE
pingo de ouro	rr20	5	Acará - PA
jurará crioula	rr21	7	Tracateua - PA
jurará crioula	rr22	12	Bragança - PA
grelo roxo	rr23	32	Bragança - PA
urubuquara	rr24	40	Bragança - PA
pingo de ouro, joana forra	rr25	12	Santa luzia do Paruá - PA
pingo de ouro	rr26	15	Nova Olinda do Maranhão - MA

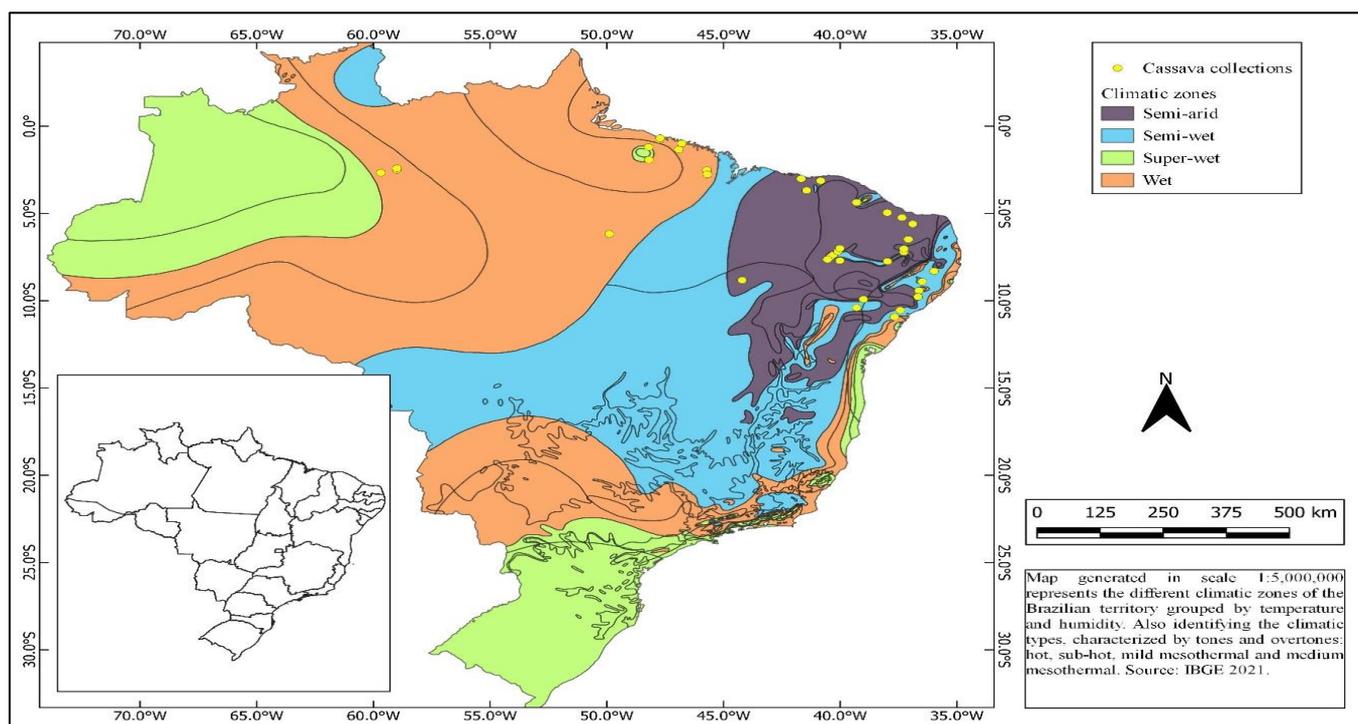


Figura 4: Nas zonas climáticas semiárido e super-úmida as cassavas analisadas expressaram maior concentração de CN-, estes resultados tem ratificado as hipóteses de que o estresse hídrico por excesso ou falta de água contribuem para a para a maior concentração de CN

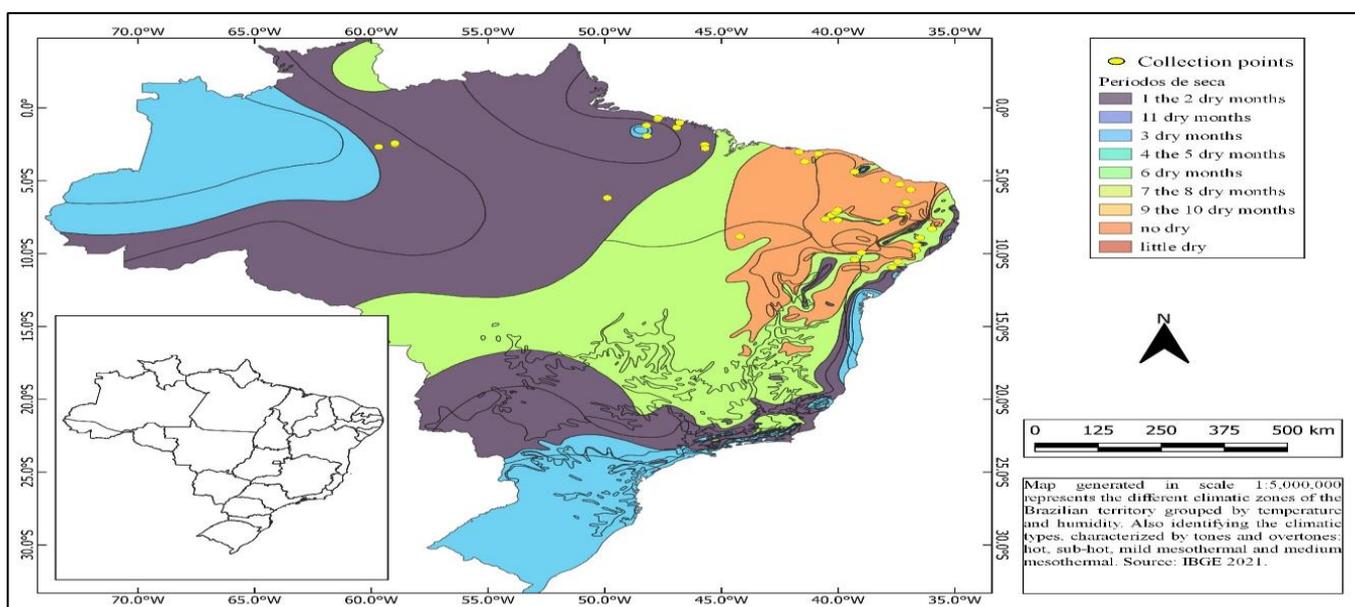


Figura 5: A sobreposição dos mapas da Figura 4 e 5, se observará que a incidência de chuva está diretamente relacionada com umidade relativa do ar nas regiões brasileiras, este fato também corrobora para a afirmação de que a disponibilidade de água é fator determinante para os níveis de concentração de CN nas cassavas analisadas.

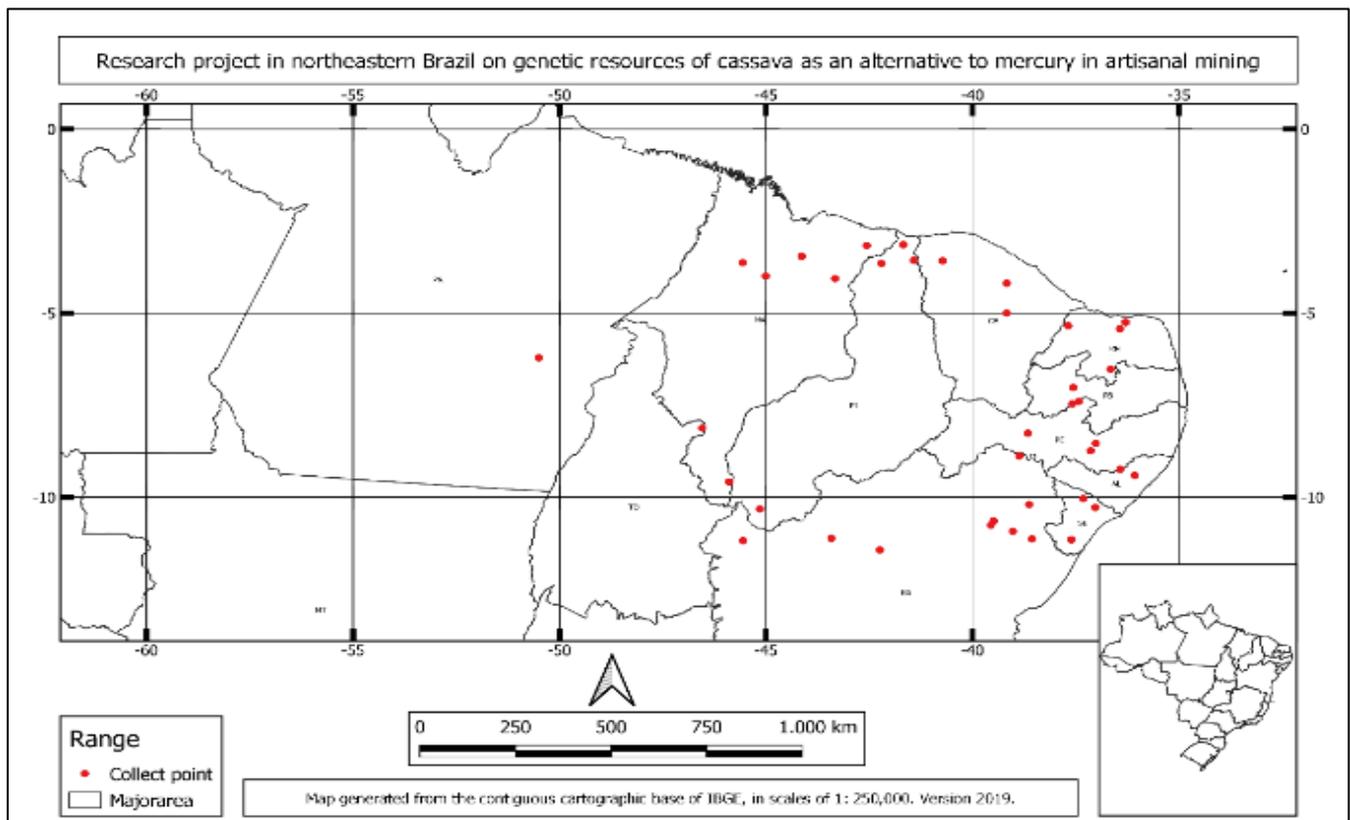


Figura 6: Estados brasileiros e localização das coletas de mandioca

Como mencionado, a influência de fatores edafoclimáticos na composição de metabólitos secundários e formação de cianeto na mandioca pode ser mais ativa nas regiões que possuem a variação ambiental mais extrema e no Brasil a região Nordeste, apresenta como característica fisionômica: temperatura quente e seca, alta baixa insolação de umidade do ar, estresse hídrico em plantas (região da Caatinga) terras inférteis.

Na região centro-oeste do Brasil, dois climas são predominantes na região centro-oeste: equatorial (somente no norte de Mato Grosso) e tropical nos demais. As temperaturas são altas com chuvas fortes no verão e seca no inverno, devido a esses fatores é possível ter uma variação que vai do calor forte e chuvas intensas durante todo o verão, permitindo por exemplo que o Pantanal permaneça inundado nesse período em praticamente sua totalidade.

A região Centro-Oeste possui dois fatores climáticos muito típicos: seca e chuva, sendo uma região de extremos, os quatro estados apresentam alta amplitude térmica com verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco. Em Goiás a umidade do ar de 12% devido à estiagem apresentada em agosto. Na parte mais alta do Planalto Central, é possível verificar geadas nos dias mais frios durante todo o inverno.

2.3.2 Segunda fase da pesquisa – Análise da influência do pH na estabilização do CN livre das mandiocas

2.3.2.1 Experimento “A” (houve estabilização do pH):

A manipueira costuma ter pH entre 5 e 7 e a ideia era impedir a possível evaporação do HCN (g) que é preditivo sobre o CN-(aq) em níveis de pH abaixo de 9. As amostras de mandioca foram trituradas e o suco foi imediatamente estabilizada em pH 10,5 com adição de 100 mg de carbonato de sódio (Na₂CO₃) na forma sólida na solução analisada, não afetando significativamente a massa e, portanto, não sendo necessário descontar a diluição. O pH 10,5 foi escolhido por ser o pH usual da solução de cianeto usada no setor de mineração para lixiviar ouro (Silverstein & Zhang, 1997)(Velásquez-López et al., 2011).

A concentração inicial de CN livre variou de 30 a 50 ppm e a faixa final (8 horas após a trituração da mandioca) variou de 0 a 150 ppm, sendo a amostra rr3 a melhor em termos de geração de CN livre. mostraram que a concentração de CN livre permaneceu estável em função do tempo (Gráfico I).

As maiores taxas de geração de CN livre foram alcançadas no período de 2 horas com exceção do genótipo rr3 que tem o pico de geração de CN em 3 horas após o esmagamento.

Os testes mostraram que a formação de CN livre é de fato inibida quando o pH da manipueira aumenta do pH original (em torno de 6,5) para 10,5. O efeito de estabilização se comporta de forma diferente para cada genótipo de mandioca e em alguns casos a concentração de CN diminui com o tempo (Gráfico 1 e Tabela 2).

2.3.2.2 Experimento “B” (não houve estabilização do pH):

A mandioca foi triturada e o suco de mandioca extraído, mas não houve estabilização do pH. Os experimentos foram realizados com o pH natural da mandioca (pH 6,5).

Observou-se que a concentração inicial de CN livre aumentou dentro de uma hora após a moagem quando nenhum componente alcalino foi introduzido. As concentrações iniciais de CN livre das 6 amostras, após uma hora, variaram de 200 a 500 ppm. Em duas amostras, os níveis de CN livre atingiram um pico após 3 horas de esmagamento e tornaram-se relativamente constantes até o final do experimento, em 8 horas. Os maiores teores de CN livre variaram de 225 a 900 ppm nas amostras, com a amostra rr6 apresentando o melhor resultado em termos de produção de CN livre (900 ppm) e também de estabilidade ao longo do tempo conforme (Gráfico 2 e Tabela 3).

A ideia inicial de estabilizar o pH para evitar a volatilização do HCN (g) à medida que este metabólito fosse sendo liberado não aconteceu. Não foi possível detectar claramente quando começa o declínio na concentração de CN livre, pois os experimentos foram interrompidos após 8 horas. Estudos adicionais são necessários.

2.3.3 cinética da síntese de cn livre em função do tempo

Observou-se que os níveis de CN livre gerados pelas amostras de mandioca coletadas em todos os momentos no experimento B foram exponencialmente maiores em relação ao experimento A, e que os melhores resultados no experimento A (150 ppm) (Fig. 3) e (Tabela 3) não foram confirmados no experimento B. As 8 horas de reação bioquímica, quando a observação foi concluída, os resultados do experimento A (150 ppm) e do experimento B (900 ppm) mostram um aumento de 600% na produção de cianeto neste último (Tabela 2).

Gráfico 1: Experimento A: Manipueira com pH estabilizado em 10.5

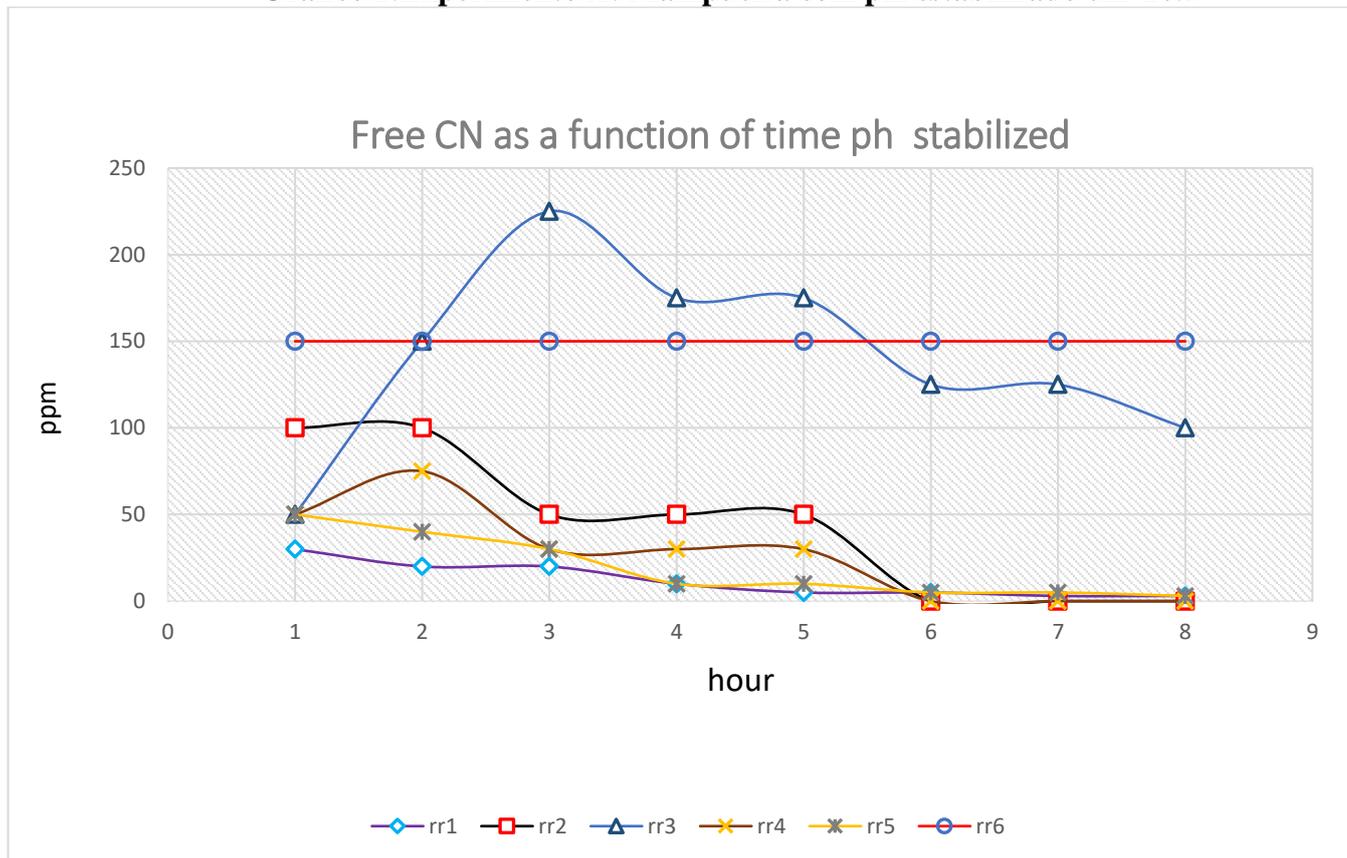
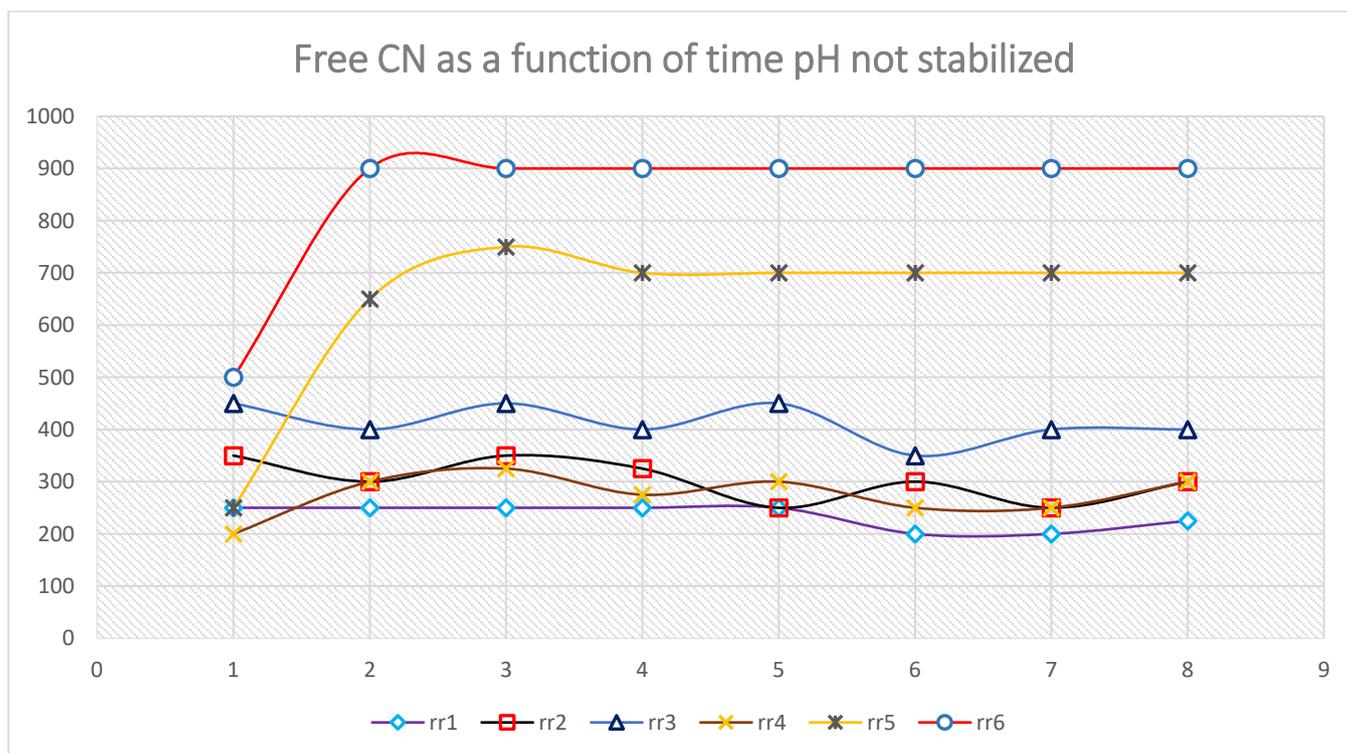


Gráfico 2: Experimento B: Manipueira com pH não estabilizado



Genotype	Free CN (ppm)							
	1 hour	2 hour	3 hour	4 hour	5 hour	6 hour	7 hour	8 hour
rr1	30	20	20	10	5	5	3	3
rr2	100	100	50	50	50	0	0	0
rr3	50	150	225	175	175	125	125	100
rr4	50	75	30	30	30	0	0	0
rr5	50	40	30	10	10	5	5	3
rr6	150	150	150	150	150	150	150	150

Tabela 2: Cianeto livre em função do tempo (pH estabilizado)

Genotype	CIANETO LIVRE (ppm)							
	1 hour	2 hour	3 hour	4 hour	5 hour	6 hour	7 hour	8 hour
rr1	250	250	250	250	250	200	200	225
rr2	350	300	350	325	250	300	250	300
rr3	450	400	450	400	450	350	400	400
rr4	200	300	325	275	300	250	250	300
rr5	250	650	750	700	700	700	700	700
rr6	500	900	900	900	900	900	900	900

Tabela 3: Cianeto livre em função do tempo (pH não estabilizado)

A concentração de genótipos de mandioca pode ser influenciada por fatores edafoclimáticos (A. E. Burns et al., 2012) e (Gu et al., 2013), Claramente, o estresse causado por longos períodos de estiagem, característico desta região geográfica, é um fator para aumentar os níveis de produção de CN livre, gerando a maior concentração de CN livre nesses acessos biológicos.

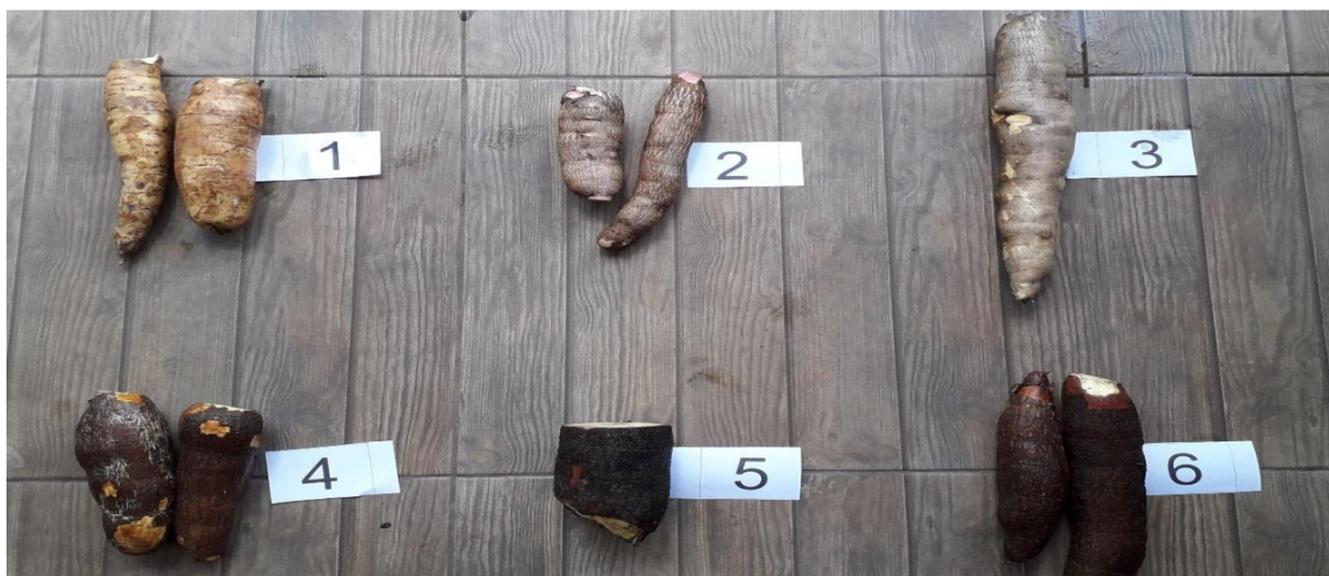


Figura 7: Exemplos que foram utilizados para os testes de estabilização no experimento “A” e Experimento “B” com os respectivos códigos rr1; rr2; rr3; rr4; rr5; rr6

2.4 CONCLUSÃO

- O método de teste até então utilizado seguindo o protocolo de análise do CN- depois de 10 minutos a partir do início do experimento é limitado, uma vez que teste adicionais demonstraram que a liberação de cianeto livre se prolonga por horas, então é correto afirmar que em 10 minutos, essa análise não faria a correta leitura.
- A estabilização do pH da manipueira logo no início da maceração (esmagamento/trituração) da raiz, utilizando carbonato de sódio (Na_2CO_3) inibe a liberação de CN-.
- A estabilização da mandioca imediatamente após o esmagamento e a extração do caldo (manipueira) implicam em rápida redução dos teores de cianeto livre.
- Foi identificado seis genótipos (variedades) de mandiocas com alto teor de cianeto: rr1 250 ppm; rr2 350 ppm ;rr3 450 ppm; rr4 325; rr5 750ppm e rr6 900 ppm, código das variedades e teor de cianeto em ppm respectivamente
- As variedade de alto teor são de ambientes suscetíveis a estresses hídricos, tanto pela falta quanto pelo excesso desde.
- Nas variedades de mandiocas analisadas, os fatores climáticos (disponibilidade hídrica e umidade) influenciaram diretamente nos teores de cianeto encontrado nas raízes.
- Apesar de picos de altos valores de concentração de ppm em diferentes tempos, observou-se que no tempo 3 (às 3 horas de início de teste) obteve-se os maiores teor de cianeto para a maioria das amostras de manipueira.
- O genótipo com maior teor de cianeto livre foi a variedade rr6, com 900 ppm, equivalente a 0.9g de cianeto por litro de manipueira, este genótipo foi coletado no sul do Pará em condições ambientais de alta umidade e forte hidroestrex, local onde foram plantadas as mandiocas. com frequência (2000mm de chuva anual) nascente e fica alagado, se nestas condições as mandiocas não forem colhidas antes de 12 meses apodrecem e não podem ser aproveitadas.
- A maioria dos genótipos testados apresentou concentração de CN livre estável dentro de 8 horas do teste.

CAPITULO II

3. CIANETO DE MANDIOCA: VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE MANIPUEIRA PARA ERRADICAÇÃO DO MERCÚRIO NA MINERAÇÃO, E PROPOSTA PARA BIOECONOMIA CIRCULAR NA AMAZÔNIA, BRASIL

Cassava cyanide: economic feasibility of using manipueira to eradicate mercury in mining, and proposal for a Circular Bioeconomy in the Amazon, Brazil

Cianuro de yuca: viabilidad económica del uso de manipueira para erradicar el mercurio en la minería y propuesta de Bioeconomía Circular en la Amazonía, Brasil

Recebido: 00/01/2022 | Revisado: 00/01/2022 | Aceito: 00/01/2022 | Publicado: 00/01/2022

Rodrigo Gonçalves de Lima

(Fonte TNR 8- espaço simples) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6675-7645>
Universidade federa do Amazonas - UFAM, Brasil
E-mail: driggmaximusdelima@gmail.com

Renato Barboza da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5857-4056>
Universidade federa do Amazonas - UFAM, Brasil
E-mail: barbozasilva010@gmail.com

Helledsen Ramos da Silva Lima

<https://orcid.org/0000-0001-6675-7645>
Associação Agrícola do Amazonas – AAPREAM
helledsen@gmail.com

Rogério Eiji Hanada

<https://orcid.org/0000-0002-4544-4882>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Brasil
rhanada.inpa@gmail.com

João Lúcio de Azevedo

<https://orcid.org/0000-0002-4544-4882>
Universidade de São Paulo – USP, Brasil
jlazevedo@usp.br

Resumo:

A mineração artesanal de ouro é uma atividade mundial que inclui cerca de 20 milhões de garimpeiros e produz até 450 toneladas/ano de .O mercúrio é o principal reagente para extração de ouro em explorações artesanais, mas seu uso indevido pode contaminar o meio ambiente. Ao contrário do mercúrio, o cianeto (CN) pode é volátil e não oferece risco de acúmulo ambiental. Novas tecnologias vêm sendo pesquisadas para a erradicação do mercúrio na mineração, e produzir “cianeto verde” de origem natural a partir da mandioca para substituir o uso do mercúrio na mineração, esta contém glicosídeos que gera cianeto e que podem ser usados para lixiviar o ouro (derreter o ouro), transformando-a na forma iônica para posterior recuperação com o uso do carvão ativado e eletrólise. O objetivo deste estudo foi mostrar a distribuição da produção de mandioca no Brasil, realizar breve consideração sobre os produtos gerados e apresentar suas potencialidades no uso regional do Amazonas, para tal foi feita busca de dados da produtividade da mandiocultura no Brasil em repositórios de órgão públicos oficiais, compilado os dados e apresentado os resultados, tendo como principais conclusões que: É possível encontrar de forma abundante produtos cianogênicos em (caule, folhas e raízes) de mandioca – planta comestível da Amazônia, e gerar de 111 a 334 mil toneladas de CN-, Novos modelos econômicos podem

contribuir para sintetizar produtos de alto valor tecnológico agregado na indústria ou agronegócio da mandiocultura e geração de renda para os amazônidas, principalmente para os amazonenses.

Palavras-chave: Cianeto; Mineração artesanal; Amazônia; Bioeconomia.

Abstract

Artisanal gold mining is a worldwide activity that includes about 20 million prospectors and produces up to 450 tons/year of mercury. Mercury is the main reagent for gold extraction in artisanal explorations, but its misuse can contaminate the environment. Unlike mercury, cyanide (CN) can be volatile and pose no risk of environmental accumulation. New technologies are being researched for the eradication of mercury in mining, and to produce "green cyanide" of natural origin from cassava to replace the use of mercury in mining, this contains glycosides that generate cyanide and that can be used to leach gold (melt the gold), transforming it into the ionic form for later recovery with the use of activated carbon and electrolysis. The objective of this study was to show the distribution of cassava production in Brazil, to briefly consider the products generated and to present their potential in the regional use of Amazonas, for this purpose, a search for data on cassava productivity in Brazil in repositories of public bodies was carried out. officials, compiled the data and presented the results, with the main conclusions being that: It is possible to find abundant cyanogenic products in (stem, leaves and roots) of cassava – an edible plant from the Amazon, and generate from 111 to 334 thousand tons of CN -, New economic models can help to synthesize products with high added technological value in the cassava industry or agribusiness and generate income for the Amazonians, mainly for the Amazonians

Keywords: Cyanide; Artisanal mining; Amazon; Bioeconomy.

Resumen

La minería artesanal de oro es una actividad mundial que involucra a cerca de 20 millones de buscadores y produce hasta 450 toneladas/año de mercurio. El mercurio es el principal reactivo para la extracción de oro en las exploraciones artesanales, pero su mal uso puede contaminar el medio ambiente. A diferencia del mercurio, el cianuro (CN) puede ser volátil y no presentar riesgo de acumulación ambiental. Se investigan nuevas tecnologías para la erradicación del mercurio en la minería, y producir "cianuro verde" de origen natural a partir de la yuca para reemplazar el uso del mercurio en la minería, este contiene glucósidos que generan cianuro y que pueden ser utilizados para lixiviar oro (fundir el oro), transformándolo a la forma iónica para su posterior recuperación con el uso de carbón activado y electrólisis. El objetivo de este estudio fue mostrar la distribución de la producción de yuca en Brasil, considerar brevemente los productos generados y presentar su potencial en el uso regional de Amazonas, para ello, se realizó una búsqueda de datos sobre la productividad de la yuca en Brasil en repositorios de organismos públicos, funcionarios, recopiló los datos y presentó los resultados, siendo las principales conclusiones que: Es posible encontrar abundantes productos cianogénicos en (tallo, hojas y raíces) de la yuca, una planta comestible de la Amazonía, y generar de 111 a 334 mil toneladas de CN-, Nuevos modelos económicos pueden contribuir a sintetizar productos de alto valor tecnológico agregado en la industria de la yuca o agroindustria y generación de ingresos para los amazónicos, principalmente para los amazónicos

Palabras clave: Cianuro; Minería artesanal; Amazonía; Bioeconomía.

3.1. Introdução

A mineração artesanal de ouro (AGM sigla em inglês) é uma atividade mundial (mais de 70 países) que inclui cerca de 20 milhões de garimpeiros e produz até 450 toneladas/ano de ouro (Seccatore et al., 2014). O mercúrio (Hg) é o principal reagente para extração de ouro em explorações artesanais, mas seu uso indevido pode ter resultado na liberação de mais de 2.000 toneladas/ano no meio ambiente (UNEP, 2020). AGM é a principal fonte antrópica de contaminação por mercúrio (Esdaile and Chalker 2018).

Ao contrário do mercúrio, que é altamente persistente no meio ambiente, o cianeto (CN) é volátil e não oferece risco de acúmulo ambiental (Logsdon, Mark et al., 1999). A lixiviação com cianeto é atualmente o processo dominante usado pela indústria de mineração de ouro convencional para extrair ouro (e prata) por mais de 100 anos (SGS, 2018). Este método econômico e comprovadamente eficiente oferece recuperação máxima para vários minérios de ouro, incluindo minérios de baixo teor e refratários. Sua grande utilização se deve a sua ampla versatilidade e alta eficiência na extração de ouro (Gavin Hilson & Monhemius, 2006).

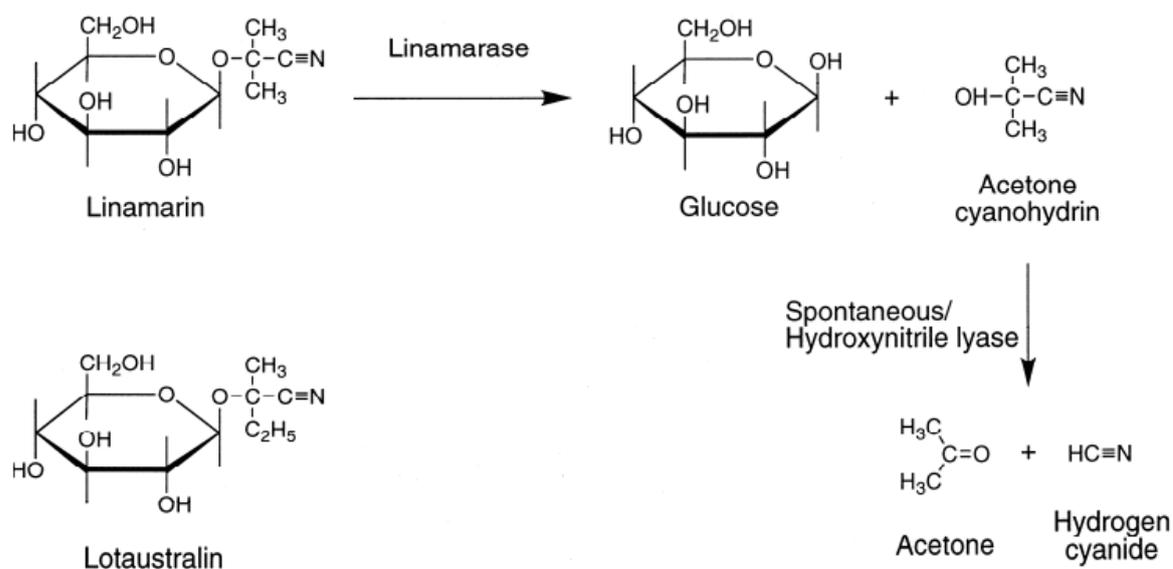
3.1.2 Lixiviação de ouro com plantas cianogênicas novas abordagens de aplicação

Os glicosídeos cianogênicos é potencialmente um reagente para lixiviar ouro. A Amazônia também possui uma grande variedade de plantas com esse potencial, a mandioca é um dos alimentos básicos da população. Existem cerca de 98 espécies de mandioca com diferentes níveis de glicosídeos cianogênicos. A Casava, por exemplo, possui dois glicosídeos principais: 95% de Linarina e 5% de Lotaustralina. Com alta variabilidade genética influenciada por fatores edafoclimáticos, a mandioca possui em suas paredes celulares a enzima linamarase, que quando a planta é esmagada, a linamarase reage com a linamarina formando glicose e cianidrina.

3.1.3 Teoria de lixiviação de ouro com manipueira

Em 2017, no Brasil, foram produzidas 706.652 toneladas de farinha de mandioca por 355.207 moinhos de farinha - “casas de farinha” Os moinhos de farinha são bem rústicos no Brasil e a raiz descascada é triturada e prensada para eliminar 30% do líquido chamado “manipueira”. Nesse processo, a linamarina entra em contato com a enzima linamarase e, por hidrólise, o ácido cianídrico (HCN) é gerado (Alexander Essers, 1994). O HCN (aq) pode ser volatilizado em pH natural de 5. A manipueira pode ser estabilizada em pH alcalino e CN⁻ torna-se predominante. Algumas mandiocas podem ter 2,4g de cianeto/kg de planta. Esses subprodutos metabólicos podem ser aplicados para lixiviar ouro. As partículas de ouro expostas entram em contacto com um agente oxidante forte, por exemplo: oxigênio, ozônio, peróxido, etc. dissolvendo ouro como um complexo de cianeto: $4Au + 8CN^- + O_2 + 2H_2O = 4Au(CN)_2^- + 4OH^-$ neste processo a estabilidade do cianeto livre (HCN ou CN⁻) depende de o pH (Aliprandini et al., 2020) conforme Figura 1.

Figura 1: Esquema simplificado da hidrólise da linamarina para síntese de Cianeto de hidrogênio



Fonte: (Bolarinwa et al., 2016).

3.1.4 Extrato de mandioca – outras informações

Aproximadamente 28 milhões de pessoas vivem apenas na Amazônia brasileira e dependendo dos recursos naturais da região (Piquet et al., 2020). A abordagem aqui discutida representa uma possibilidade da utilização do conhecimento científico e tradicional para fornecer soluções ambientais e sociais para o problema do mercúrio (Bansah et al., 2016; Seccatore & de Theije, 2017). O potencial uso de plantas locais com fonte de cianeto para fins de lixiviação de ouro, pode ser um passo importante para um processo mais econômico e eficiente em métodos de recuperação de ouro de pequeno porte (Torkaman et al., 2021). Com gestão cuidadosa e protocolos para controlar efeitos do cianeto ao meio ambiente e às pessoas, esta proposta pretende fornecer aos garimpeiros artesanais locais um método para minimizar e até eliminar o uso de mercúrio (Torkaman et al., 2021).

O estudo de plantas cianogênicas, como a mandioca, além de sua importância local e regional, podem contribuir para o aumento de valor na cadeia produtiva de alimentos a partir de sua biomassa (FAO, 2022), além de gerar valor agregado subprodutos anteriormente descartados como rejeitos (A. E. Burns et al., 2012; Torkaman et al., 2021). Para isso são necessárias pesquisas no sentido de: 1 – acessar diferentes tipos de plantas cianogênicas da região amazônica; 2 – acessar os níveis de glicosídeos cianogênicos e a geração de cianeto livre; 3 – extração de cianeto livre das folhas, caules e outras partes das plantas; 4 – testar os glicosídeos cianogênicos lixiviando ouro.

Testes utilizando manipueira na Colômbia de uma operação de mineração artesanal, revelaram que 50% do ouro pode ser solúvel em 24 h com manipueira em pH 10,5 e laboratoriais preliminares usando extratos de mandioca do Brasil com 267 ppm de cianeto livre resultaram em recuperações de ouro promissoras entre 50 e 60% de um minério de alto teor com 49 ppm de Au (Torkaman et al., 2021). Os autores destacaram a necessidade de investigação de espécies de mandioca com maiores teores de glicosídeos e condições para gerar mais cianeto ao longo do tempo.

Este artigo justifica-se à medida que os benefícios desse conhecimento podem compreender a dinâmica para favorecer os mineradores Artesanais: 1 – Aborda e fornece uma alternativa eficaz para as preocupações globais da mineração artesanal quanto ao uso de mercúrio; 2 – diminui os riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente do uso de mercúrio para extração de ouro na mineração artesanal; 3 – contribui para questões de saúde humana nas economias em desenvolvimento.

Para empresas os benefícios desse estudo se aplicam para: 1 – fornecer um lixiviante alternativo (a partir de fontes de plantas locais) para pequenas operações; 2 – desenvolvimento de métodos simplificados de extração de ouro de minérios de concentrações variáveis; 3 – os potenciais benefícios do uso de resíduos vegetais, após a extração de ouro para restauração do local (corretivos orgânicos para reestabelecimento da vegetação como fonte de remediação)

3.2 Metodologia

O objetivo deste estudo foi mostrar a distribuição da produção de mandioca no Brasil e nos estados brasileiros, realizar breve consideração sobre os produtos gerados e analisar os preços bruto no maior estado produtor de mandioca comparado com Amazonas no Ano de 2020, para tal foram feitas busca de dados da produtividade da mandiocultura no Brasil em repositórios de órgão públicos oficiais como EMBRAPA, IPEA, MAPA, CONAB, FAO com as seguintes palavras de buscas (Produtividade de mandioca, produtividade de mandioca no Brasil e mundo, maiores produtores de mandiocas do mundo, usos da mandioca), houve recorte temporal para os últimos cinco anos retroativo de 2022, para critérios de elegibilidade (inclusão e exclusão de artigos) buscou-se apenas apresentar dados de órgãos oficiais ou aqueles que tem alta

relevância dentro do cenário agrícola e com frequência é consultado ou parceiros desses organismos, esta pesquisa foi baseada no modelo teórico conceitual de (Godoy, 1995) e (Pereira et al., 2018). posteriormente compilado as quantidades e os valores de produção para o Estado do Amazonas de modo que inferências diretas nas massas e volumes produzidas e colhidas de mandioca pudesse expressar a potencial quantidade de cianeto gerada, o resultado é demonstrado durante o resultado e discussão.

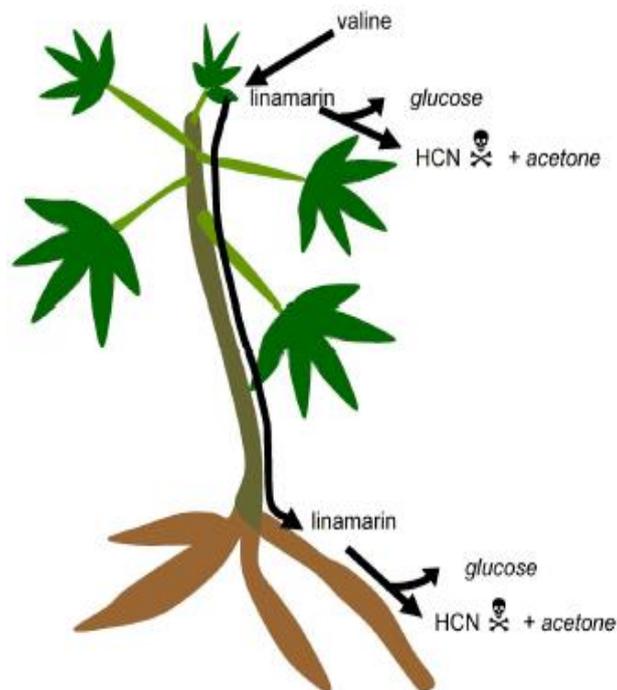
Na segunda parte do artigo é apresentado uma síntese dos conceitos das principais teorias microeconômicas proposta de um novo modelo econômico de operação de modo microeconômico na Amazônia utilizando de forma sinérgica as teorias anteriores apresentadas.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Mandioca

A mandioca tem origem amazônica (A. Burns et al., 2010) e é o 3º mais importante fonte de calorias no trópicos e o 6º mais importante cultura alimentar no mundo depois da cana-de-açúcar, milho, arroz, trigo e batata. Mais de 800 milhões de pessoas no mundo têm a mandioca como alimento básico (A. Burns et al., 2010).

Figura 2: Síntese de cianeto em diferentes partes das plantas na defesa de pragas e doenças



Fonte: (A. Burns et al., 2010)

Cerca de 98 espécies de mandioca com diferentes níveis de os glicosídeos cianogênicos. A mandioca contém 2 glicosídeos cianogênicos: Linamarina (95%) e Lotaustralina (5%). (Siritunga & Sayre, 2004) A mandioca também possui uma

enzima linamarase que está em a parede celular da planta. Quando a planta é esmagada, a linamarase encontra o linamarina formando glicose e cianidrina. A cianidrina se decompõe espontaneamente em acetona e cianeto livre (HCN), geralmente o pH é em torno de 6. (Bialek M. et al., 2016; Torkaman et al., 2021; Vieira, 2006) conforme Figura 2.

3.3.1.2 Lixiviação de ouro com *Manihot esculenta* Crantz: novas abordagens de aplicação

A bioprospecção é o modelo de tecnologia aplicada que se enquadra no desenvolvimento sustentável, assim, os produtos biotecnológicos são ferramentas fundamentais para a gestão da inovação a serem utilizadas nas Cadeias Produtivas, C&T: Circuitos, Escalas e Gestão para trazer Aprendizagem e Capacitação Tecnológica, para fins de Divulgação de Conhecimento e Inovação para a Amazônia. A mandioca possui grande quantidade de glicosídeos cianogênicos que hidrolisam em água para formar cianeto livre e acetona (Jaszczak et al., 2017), é uma alternativa a ser pesquisada como alternativa ao uso de mercúrio em ASM, podendo se tornar um produto do amadurecimento recursos biotecnológicos e tecnológicos da região amazônica na substituição do mercúrio por plantas cianogênicas originárias da região amazônica.

Os glicosídeos de cianeto estão presentes em pelo menos 2.000 espécies de plantas e nunca foram investigados como reagentes para lixiviar ouro. A Amazônia também possui uma grande variedade de plantas com esse potencial, a mandioca é mais que um dos alimentos básicos da população, possui importante aplicação na indústria e seu processamento agrega em seus subprodutos como matéria prima em diversas indústrias, tanto alimentícias quanto não alimentícias, existem cerca de 98 espécies de mandioca com diferentes níveis de glicosídeos cianogênicos (95% de Linarina e 5% de Lotaustralina)(Barney, 2018b, 2018a; García et al., 2015) fazendo com que tenha alta variabilidade genética influenciada por fatores edafoclimáticos, a mandioca possui a enzima Linamarase em sua célula paredes, quando a planta é esmagada, a linamarase encontra a linamarina formando glicose e cianidrina.(Jaszczak et al., 2017)

3.3.1.3 Aspectos tecnológicos do uso da mandioca

A mandioca é a terceira fonte alimentar mais importante no trópico úmido (Figura 3), depois do arroz e do milho, e é o alimento básico de cerca de 700 milhões de pessoas (A. Burns et al., 2010; EMBRAPA, 2017) seu como fonte de alimento está aumentando principalmente na África, porque ela rende bem mesmo em solos pobres e com pouco ou nada de fertilizantes, é altamente tolerante e resistente à seca e outros tempos ambientais adversos sendo que a raiz pode ser deixada no solo por até 3 anos como fonte de reserva de alimento, em algumas regiões no nordeste brasileiro pode se estender a 5 anos. em período de estiagem, as folhas caem, a planta mante-se viva devido as grandes quantidades de raízes e reservas energéticas nelas contida, quando as chuvas vêm, as folhas voltam a brotar. Outra observação importante é que as raízes são muito amiláceas com menor teor de proteína em comparação com outras raízes tropicais.

Figura 3: A mandioca e seus diferentes uso da raiz e folhas

Folhas são usadas

- Na ração animal
- Para preparar a **maniçoba**, prato típico das Regiões Norte e Nordeste

Caule

- É reaproveitado no plantio de novos pés de mandioca

Raízes são utilizadas

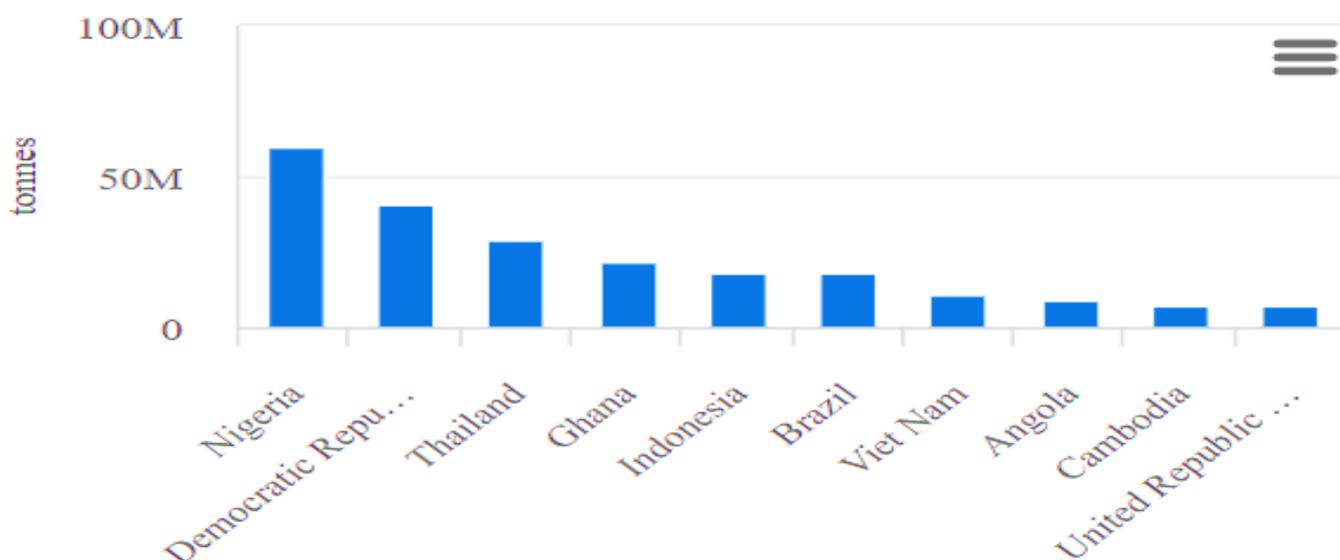
- Na produção de **farinhas, tucupi e melaço**
- Para extrair o **amido** usado na fabricação do **pão de queijo, tapioca, cerveja, lácteos e embutidos**
- Para obter o **ácido cianídrico**, que ajuda a extrair o ouro



3.3.1.4 Produtividade no Brasil

O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de mandioca, nos anos 2000 ocupava a segunda posição na produção mundial (Brabo, 2007; EMBRAPA, 2017), participando com 12,7% do total (EMBRAPA, 2003), em 2020 tinha 60, congo 41, Tailândia 28 e Gana 21 milhões de toneladas produzidos (FAO, 2022), decaído quatro posições estando em 6º maior produtor de mandioca do mundo, com 18, ficando atrás de países como Nigéria

Gráfico 1: Ranking dos países que mais produzem mandioca



Fonte: (FAOSTAT) (FAO, 2022).

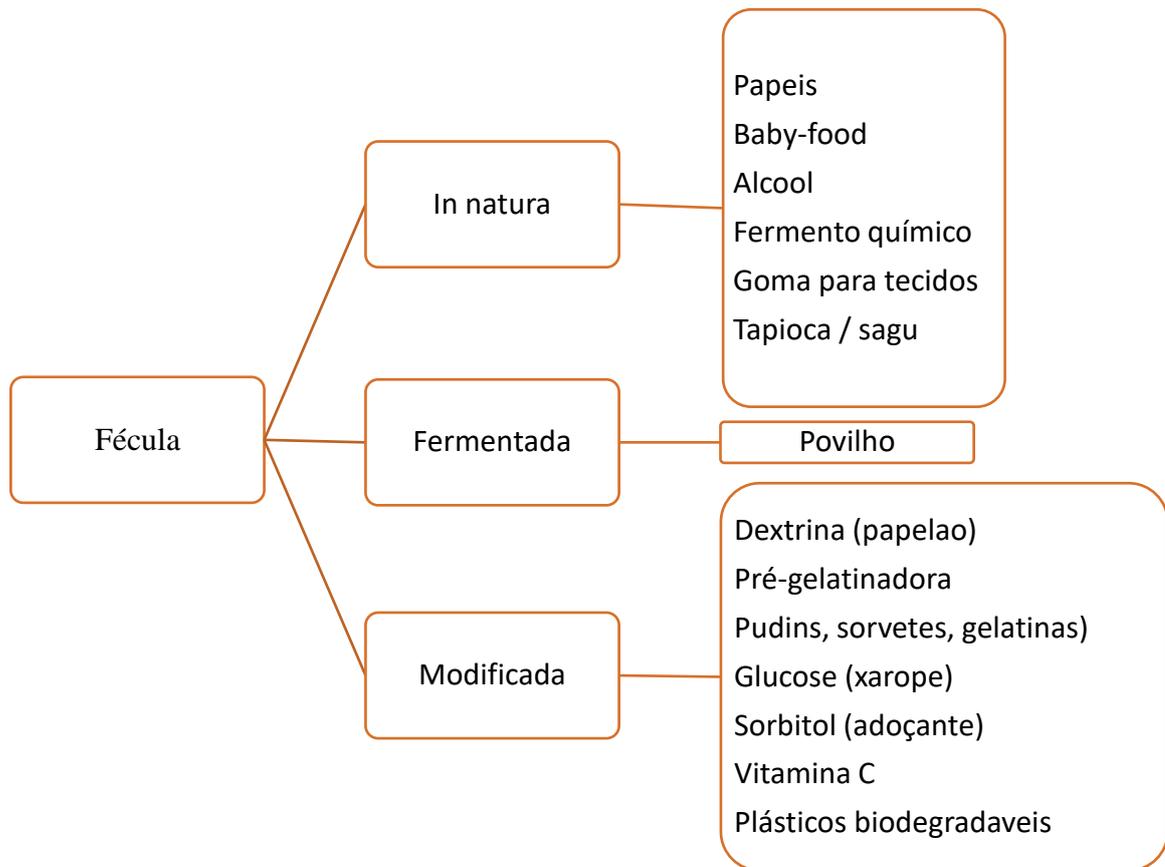
A mandioca tem predomínio de cultivo em todas as regiões do Brasil, tem elevada importância na segurança alimentar assumindo tanto humana quanto animal, também é utilizada como fonte de matéria-prima em diversos setores produtivos industriais (Guimarães et al., 2022), no aspecto social abriga relevante contribuição na geração de emprego e de renda, especialmente nas regiões economicamente mais pobres.

Considerando-se a fase de produção em campo e o processamento de farinha e fécula, estima-se que um milhão de empregos diretos são gerados, fazendo que a renda bruta anual seja em torno de a 2,5 bilhões de dólares no Brasil (EMBRAPA, 2003).

A produção de mandioca que é transformada em farinha e fécula gera, respectivamente, uma receita equivalente a 600 milhões e 150 milhões de dólares, respectivamente. Dentre os principais estados produtores destacam-se:

Pará, Paraná, São Paulo e Amazonas que somados correspondem por 59% da produção do país. A produção por região o Nordeste tem a participação de 34,7% da produção, mas com baixo rendimento médio de apenas 10,6 t/ha. Nas demais regiões as participações na produção nacional são: Norte (25,9%), Sul (23,0%), Sudeste (10,4%) e Centro-Oeste (6,0%). Sendo a Regiões Norte e Nordeste principais produtoras e consumidoras principalmente para uso na massa social e na forma de farinha, tapiocas. Nas Regiões Sul e Sudeste os rendimentos médios são de 18,8 t/ha e 17,1 t/ha, destinado a priori a indústria (Brabo, 2007; EMBRAPA, 2003, 2017), na Figura 4 mostra os principais elos da cadeia de produção e utilização dos produtos da mandioca e seus produtos gerados.

Figura 4: Principais produtos da cadeia da mandiocultura



Fonte: (EMBRAPA, 2003)

Na tabela é possível observar que houve que de 24 milhões de toneladas de meados dos anos 200 para 18 milhões de toneladas por hectare no Brasil (IBGE, 2020), causando pressão no fornecimento de matéria prima à indústria e no setor alimentício, é possível ver que o Pará e Amazonas (1º e 4º maiores produtores respectivamente) não tiveram grande variação na produção já que estes são um dos principais bases da alimentação regional, dispensando grande investimentos tecnologias e com clima sem grande variação atípicas de chuvas, favorecendo assim a estabilidade de produção ao longo do ano, apesar disso, o rendimento em kg/ha é maior no estado do Pará em relação ao Amazonas, 14 t/há e 11t/há respectivamente.

Tabela 1: Mandioca em números produção agrícola - lavoura temporária ano 2020

Mandioca	Brasil	Amazonas	Pará	
Quantidade produzida	18.205.120	890.124	3.813.369	t
Valor da produção	10.887.678,00	900.348,00	2.178.350,00	(x)1000) R\$
Área plantada	1.234.523	79.742	275.730	ha
Área colhida	1.214.015	76.774	270.288	ha
Rendimento médio	14.996	11.594	14.109	kg/ha

Fonte: (IBGE, 2020)

3.3.1.5 Produção de mandioca no Brasil

A produção mundial de mandioca apresenta um crescimento contínuo e atualmente registra uma produção de 274,7 milhões de toneladas (DERAL, 2019). A produção anual de mandioca no Brasil em 2020 foi algo em torno de 18 milhões de toneladas. A produção de mandioca movimentada no Brasil cerca de R\$ 12 Bilhões de reais ao ano (Figura 5; Figura 6) de mandioca, fazendo-o o 6º colocado em produtividade mundial (ONU, 2022), em contexto regional o estado do Pará se consolidou o maior produtor brasileiro, com 22% de toda a produção. sendo a 3ª lavoura mais produtiva desse estado (R\$ 1,83 bilhões) (SEDAP, 2022).

No estado do Pará, (Figura 6) mesmo que o aumento do rendimento da produtividade de 3,8 para 4,0 milhões de t/ha seja um fator positivo, ainda é baixo quando considerado t/ha – que fica entorno de 14 t/ha, ficando em 16ª posição quando ranqueado com as outras 27 unidades da federação (ABAM, 2021), o Pará apresenta o maior consumo “per capita” de farinha, estimado em 35 kg/ano (DERAL, 2019).

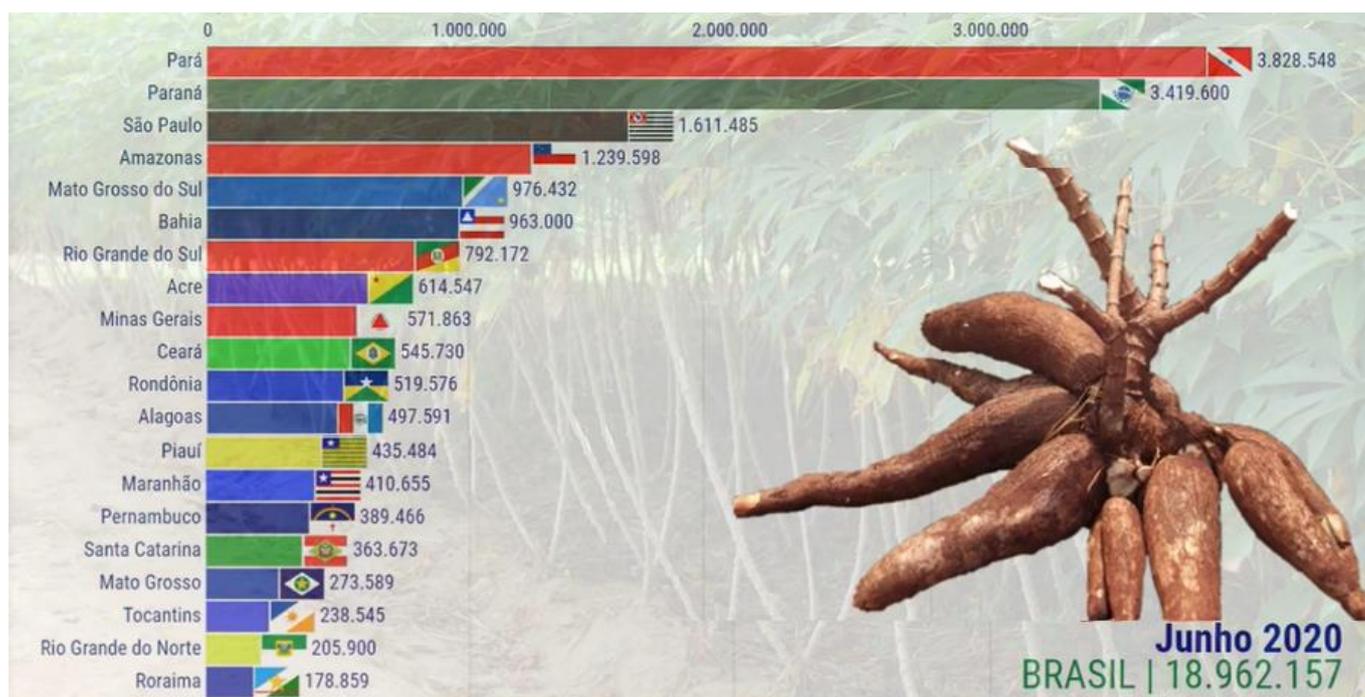


Figura 5: Os estados com maior produção de mandioca no Brasil

Fonte: (IBGE, 2020)

A região norte e nordeste representa 60% da produção de mandioca do Brasil, o Pará o maior produtor da região norte tem uma área plantada de 279 mil hectares mas com uma produtividade baixa 13845 t/ha, já o maior produtor da região sul, o Paraná, tem 142 mil hectares plantados de mandioca mas com altíssima produtividade em t/ha quando comparado com o Pará (24528 t/há), sendo que a produção da região norte é voltada para o consumo humano em forma principalmente de farinha

Figura 6: Maiores produtores de mandioca do Brasil (Estado do Pará e Paraná)



Fontes: Embrapa, Ministério da Agricultura e IBGE

e na região sul para a indústria. Ambos representam a produção de 20 e 18.1% respectivamente. (DERAL, 2019).

Fonte: federação (ABAM, 2021), o Pará apresenta o maior consumo “per capita” de farinha, estimado em 35 kg/ano (DERAL, 2019)

Tabela 2: Mandioca- principais estados- área, produção e produtividade 2018/19

Regiões/Estados	Área (1000 ha)	Produção (1000t)	Produtividade (Kg / ha)	Participação %
NORTE	495	6.675	13.485	34,5
PARÁ	279	3.871	13.875	20,0
AMAZONAS	126	1.332	10.572	6,9
ACRE	36	994	27.611	5,1
OUTROS	54	478	8.852	2,5
NORDESTE	454	4.557	10.038	23,6
BAHIA	171	1.858	10.866	9,6
MARANHÃO	58	444	7.655	2,3
CEARÁ	62	489	7.887	2,5
OUTROS	163	1.766	10.834	9,2
SUL	213	4.786	22.470	24,8
PARANÁ	142	3.483	24.528	18,1
RIO G. DO SUL	50	896	17.920	4,6
S. CATARINA	21	407	19.381	2,1
SUDESTE	112	2.018	18.018	10,5
MINAS GERAIS	39	535	13.718	2,8
SÃO PAULO	53	1.199	22.623	6,2
OUTROS	20	284	14.200	1,5
CENTRO OESTE	68	1.265	18.603	6,6
MATO G. DO SUL	37	821	22.189	4,3
MATO GROSSO	19	261	13.737	1,4

Fonte: (DERAL, 2019)

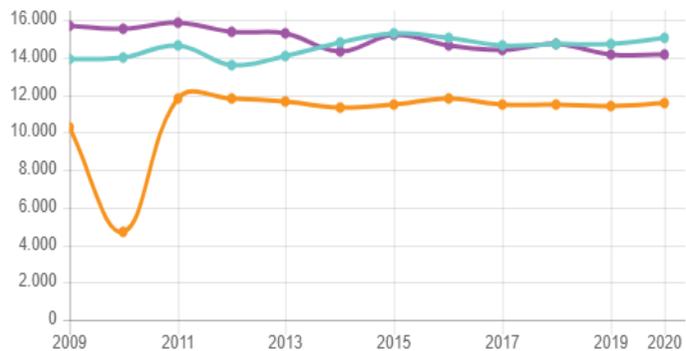
Desde 2011 (Gráfico 2) Rendimento médio em (t/ha) tanto do Amazonas quanto Pará, 11 e 14 (t/ha) respectivamente é baixo quando comparado com outras médias nacionais que podem chegar a acima dos 22 t/ha como São Paulo e Mato Grosso e 24 t/ha em paraná, muitas vezes refletindo a destinação final do produto (se uso tradicional ou industrial) bem como o uso de tecnologia no preparo de terra para cultivo, porém no Brasil a média móvel mantém-se estável próximo a 12 (t/ha).

Desde 2009 (Gráfico 3) área colhida em hectare vem reduzindo-se de 1.800.000 para 1.400.00 ha em 2020, no entanto nada alterando a área cultivada no Amazonas e Pará, 13 e 10.5 t/ha respectivamente, que permaneceram praticamente inalterados, isso reflete a diminuição da produção em outras regiões, escassez de produtos para indústria e alimentação.

Valor da produção (Gráfico 4), desde 2009 reflete diretamente a área colhida, isto é, houve diminuição no investimento desde 2009 até 2020 e é possível perceber analisando o gráfico 3 que com a diminuição da produção, houve menor colheita de mandioca, mas novamente, esses reflexos não afetaram a produção no Pará e Amazonas, que mantiveram os dados inalterados quanto a área colhida x valor da produção.

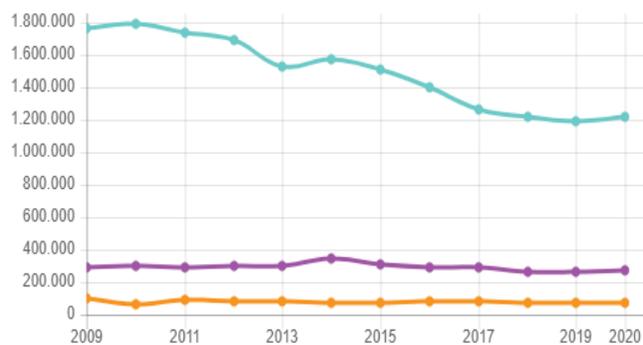
O gráfico 5, (Área plantada em ha) quando relacionado com (Quantidade produzida (t)), é perceptível a relação de proporcionalidade, pois no Brasil à medida que há diminuição da área plantada, pode inferir que há diminuição na quantidade na produção de mandioca, mas o mesmo não é perceptível quando somente comparados o Estado do Pará e Amazonas, eles continuam com suas áreas plantadas e quantidades produzidas de mandiocas de forma linear, praticamente não sofrendo nenhuma alteração, da mesma forma que foi observado nos gráficos anteriores.

Gráfico 2: Mandioca / Rendimento médio (Kg/ha)



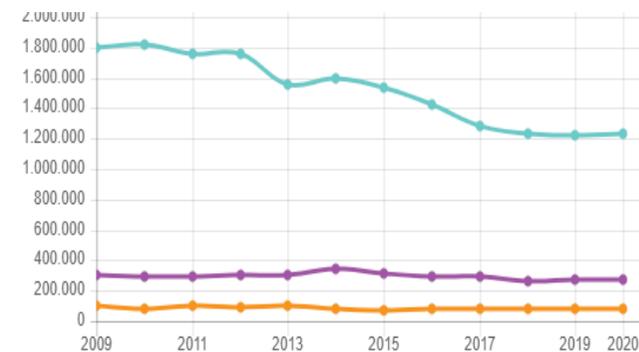
Brasil Amazonas Pará

Gráfico 4: Mandioca / Area colhida (ha)



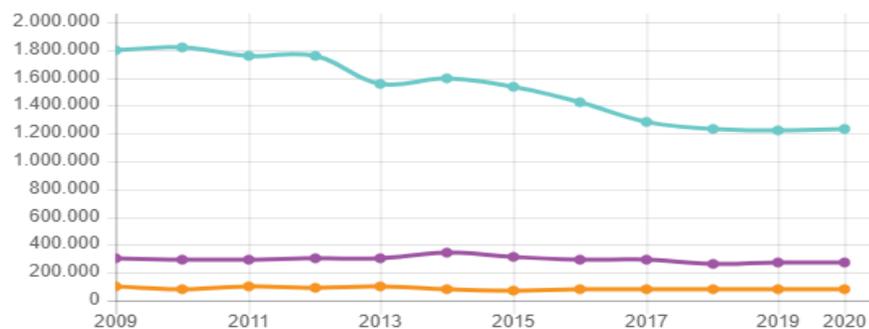
Brasil Amazonas Pará

Gráfico 3: Mandioca / Valor da produção (R\$ x 1000)



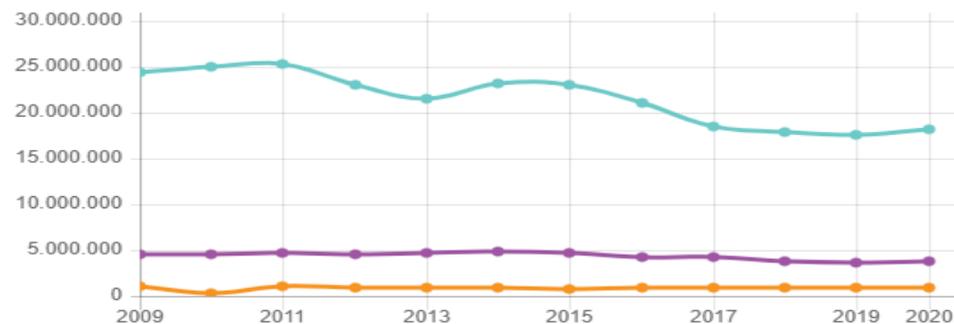
Brasil Amazonas Pará

Gráfico 5: Mandioca / Área plantada (ha)



Brasil Amazonas Pará

Gráfico 6: Mandioca / quantidade produzida (t)



Brasil Amazonas Pará

3.3.2 Desenvolvimento sustentável

3.3.2.1 Desenvolvimento sustentável da bioeconomia

A integração da atuação de estudos no campo da tecnologia e ecologia de forma aplicada pode ser entendida como ecotecnologia, tem objetivo de minimizar impactos ambientais criando projetos sustentáveis atendendo o corpo social através das estruturas ecossistêmicas.

- Bioeconomia
- Economia circular
- Arranjo produtivos locais
- Bioeconomia circular
- Microeconomia

3.3.2.2 Bioeconomia ou economia verde

O desenvolvimento sustentável só é possível uma vez que seus três pilares fundamentais (social, ambiental e econômico) (Carvalho, 2015; ONU, 2018) alcançados integralmente, isto é, que os recursos ambientais sejam utilizados de modo racional e os fatores econômicos sejam positivamente refletido em equidade na distribuições de bens e serviços no corpo social.

Bioeconomia é um modelo de produção industrial baseado no uso de recursos biológicos. O objetivo é oferecer soluções para a sustentabilidade dos sistemas de produção com vistas à substituição de recursos fósseis e não renováveis. movimentada no mercado mundial cerca de 2 trilhões de euros e gera cerca de 22 milhões de empregos (EMBRAPA, n.d.) desta forma destaca-se a interação da economia circular e benefícios sociais, ambientais e coletivos (CNI, 2020)

A nível regional diversos institutos de pesquisas tem entendido que os insumos amazônicos têm fortes possibilidades de contribuir de diversas formas em segmentos distintos e, neste sentido, tem por objetivo colaborar com o estímulo de bionegócios regionais que potencializem a utilização sustentável destes bens originários da maior floresta tropical do mundo, a exemplo desses institutos de pesquisas na região norte do Brasil: Centro de Biotecnologia da Amazônia (CBA), Universidade Federal do Amazonas, Instituto nacional de pesquisas da Amazônia – (INPA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) dentre outros.

Cada instituto tem sua especificidade mas, é comum a todos a busca de soluções disruptivas para uma sociedade sustentável (CROPLIFE BRASIL, 2022), na geração de produtos e processos (P&d) por exemplo, o CBA Identifica e tem por objetivo atuar em:

- Ser um centro de inteligência da biodiversidade amazônica;
- Ser o maior parque tecnológico e hub de bionegócios da região Norte do Brasil;
- Atuar no desenvolvimento de bioprodutos e geração de negócios;
- Prestar serviços qualificados para a indústria, agricultura e de apoio ao meio ambiente;
- Apoiar a criação e o desenvolvimento do polo de bioindústrias;
- Incubar e acelerar empresas de base tecnológica;
- Contribuir com os normativos para melhorar o ambiente de bionegócios.

Enquanto o Portfólios de projetos da Embrapa ([Embrapa, 2022](#)) estão alinhadas aos seguintes portfólios de projetos e desafios para Inovação:

Biotecnologia Avançada Aplicada ao Agronegócio

- Maximizar o desenvolvimento de cana de açúcar, milho e eucalipto pela adoção de TIMPs (Técnicas Inovadoras de Melhoramento de Precisão) e microrganismos geneticamente modificados para a oferta de novos bioprodutos em biorrefinarias
- Viabilizar biofábricas de plantas, animais e microrganismos para a produção de biofármacos, bioplásticos, cosméticos e blocos construtores, por técnicas biotecnológicas

Insumos Biológicos

- Expandir o controle biológico conservativo de pragas, doenças e fitonematoides nos sistemas de produção de grãos, hortaliças, fruteiras e na agricultura orgânica
- Substituir insumos sintéticos por ativos biológicos para contornar limitações produtivas das principais commodities agropecuárias (soja, milho, trigo, algodão, açúcar, citros, café, celulose e carnes suína, frango e bovina)
- Substituir ou diminuir o uso de fertilizantes de origem não renovável por insumos de base biológica nas culturas do feijão, feijão-caupi, soja, milho, algodão, pastagens e cana-de-açúcar

Nanotecnologia

- Otimizar nano materiais para a indústria de alimentos, materiais, pós-colheita e embalagens pelo reaproveitamento de resíduos agropecuários, agroindustriais e florestais
- Otimizar o aproveitamento na agropecuária e prover fontes alternativas de fertilizantes usando nanotecnologia

Energia, química, tecnologia da biomassa

- Ampliar a geração de energia renovável pelo reaproveitamento de resíduos agroindustriais do sorgo, capim elefante e cana-de-açúcar e de esterco de suínos, bovinos e da cama de aviários via processos de digestão anaeróbica
- Ampliar o uso da biomassa vegetal para a produção de plásticos e materiais renováveis e/ou biodegradáveis
- Ampliar o uso de matérias-primas renováveis e disponíveis nas regiões Sul, Norte, Nordeste e Centro-Oeste para a produção de combustíveis e energia
- Viabilizar novos produtos e energia limpa a partir do processamento de grãos de soja e milho e de resíduos das indústrias de açúcar, álcool, papel e celulose
- Viabilizar novos produtos e energia limpa a partir do processamento de grãos de soja e milho e de resíduos das indústrias de açúcar, álcool, papel e celulose
- Viabilizar o uso de fontes renováveis para a produção de adjuvantes de pulverizações agrícolas e de solventes para uso industrial
- Viabilizar processos agroindustriais que ampliam a produção de etanol e de energia renovável a partir de sorgo sacarino, milho e cana-de-açúcar
 - Viabilizar rotas tecnológicas eficientes economicamente e ambientalmente para o uso de lignina na produção de energia, compostos químicos e materiais renováveis

- Ampliar a participação de outras matérias-primas na matriz de óleos usados para produção de biodiesel e bioquerosene de aviação
- Ampliar a viabilidade econômica do uso do sorgo e milho para a produção de etanol, energia e biogás nas regiões Sudeste e Centro-Oeste
- Intensificar a fixação biológica de nitrogênio e de promotores de crescimento nas culturas da cana-de-açúcar, capim-elefante e sorgo
- Viabilizar a produção de bioenergia nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste através de sistemas de produção agroindustriais inovadores e fundamentados na cultura do capim-elefante (Embrapa, 2022)

O desenvolvimento regional passa pela bioeconomia e o Brasil tem como diferencial toda riqueza da vasta biodiversidade da Amazônia. Sua correta utilização pode resultar em um avanço sustentável da região e gerar emprego e renda à sociedade, complementando a matriz econômica local, atualmente centrada nos benefícios oriundos do modelo Zona Franca de Manaus (ZFM)

3.3.2.3 Economia circular

conceitualmente associa desenvolvimento econômico a um melhor uso de recursos naturais, por meio de novos modelos de negócios e da otimização nos processos de fabricação com menor dependência de matéria-prima virgem, priorizando insumos mais duráveis, recicláveis e renováveis

Segundo o guia 8001:2017 (British Standards Institute, 2017; BSI, 2017) é um sistema econômico que utiliza uma abordagem sistêmica para manter o fluxo circular dos recursos, por meio da adição, retenção e regeneração de seu valor, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Para tanto se faz necessário ampla discussão e diálogo com o setor industrial, governamental e academia de ciências de modo que modelos e propostas de inovação, pesquisa e desenvolvimento possa ser orientado para resoluções de gargalos.

A economia circular pode ser entendido de maneira mais abrangente do que somente reutilizar / reciclar /redesenhar produtos, pode ser entendido como transformar o modelo e Modus Operandi de como a economia funciona,

Na economia linear onde outrora o ciclo era fabricar, utilizar para finalmente descartar o produtor, agora economia circular passa a ser somente circular e regenerar. Porém nas oportunidades exige-se desafios a serem sintetizados tais como modelos de negócios, regulamentos, incentivos e novos modelos de financeiros.

3.3.2.4 Bioeconomia circular

Representando alternativa ao capitalismo linear bioeconomia circular, no conceito econômico que integrativo das sinergias (economia circular e da bioeconomia), focado na correta utilização de matérias-primas naturais em sistemas fechados.

Daí constitui-se a importância de estudos de novos modelos de produtivos para promover e aperfeiçoar a capacidade produtiva de forma mais limpa e sustentável (Maia et al., 2021), sendo um importante instrumento a ser implantado em P&d a bioeconomia tem sido norteadoras das ações de diversos países na necessidade de integração mais intensa de cooperação entre a comunidade científica, empresas privadas, governo e corpo social, no estabelecimento de políticas ambientais congruente (De Oliveira Faria & De Azevedo Caldeira Pires, 2020). Sendo assim, para (Stegmann et al., 2020) a bioeconomia circular dedica-se na valorização sustentável e eficiente dos recursos da biomassa em cadeias de produção integradas e de múltiplos

resultados (por exemplo, biorrefinarias), ao mesmo tempo aproveitando os resíduos e otimizando o valor da biomassa ao longo do processo temporal por meio de cascata, vide Figura 7.

Figura 7: Economia circular e seus elementos



Fonte: (Stegmann et al., 2020)

3.3.2.5 Arranjos Produtivos Locais- APL

Os arranjos produtivos locais, também denominados de (Sistema produtivo local) ou também (Cluster), o Brasil a expressão mais difundida é arranjo produtivo local. (BRASIL, 2021). Segundo o Governo do Brasil (BRASIL, 2017), [...] os Arranjos Produtivos Locais (APLs) são aglomerações de empresas e empreendimentos, localizados em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva, algum tipo de governança e mantêm vínculos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais, tais como: governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e pesquisa.

Outra definição utilizada por Rede de Pesquisa em Arranjos e Sistemas Produtivos e Inovativos Locais – REDESIST, (Matos et al., 2017) é que [...] Arranjos produtivos locais são aglomerações territoriais de agentes econômicos, políticos e sociais – com foco em um conjunto específico de atividades econômicas – que apresentam vínculos mesmo que incipientes. Geralmente envolvem a participação e a interação de empresas – que podem ser desde produtoras de bens e serviços finais até fornecedoras de insumos e equipamentos, prestadoras de consultoria e serviços, comercializadoras, clientes, entre outros – e suas variadas formas de representação e associação. Incluem também diversas outras organizações públicas e privadas voltadas para: formação e capacitação de recursos humanos, como escolas técnicas e universidades; pesquisa, desenvolvimento e engenharia; política, promoção e financiamento [...].

A REDESIST disponibiliza on-line Rede de Pesquisa em Sistemas Produtivos e Inovativos Locais e segundo (Matos et al., 2017) é classificado os APLs vitais para o desenvolvimento nacional em, pelo menos, quatro categorias: 1. APLs

competitivos internacionalmente e capazes de inovar, de capturar e acumular sinergias próprias. 2. APLs com massa crítica mínima e potencial para alcançar sinergias dinâmicas, porém afetados por algumas fragilidades. 3. APLs limítrofes, relativamente próximos de alcançar massa crítica, sendo, porém, incapazes de acumular eficiências coletivas com a força e a persistência necessárias. 10 Prefácio 4. APLs precários, sem condições de acumular sinergias próprias, situados, em geral, em regiões deprimidas, de baixa renda ou submetidos a processos externos de extração desigual de valor.

O desenvolvimento regional a muito tempo é discutido pelos governantes, houve várias eras econômicas no Amazonas desde as explorações extrativistas das drogas do sertão, látex da borracha, distrito industrial, distrito agropecuário, zona franca de Manaus, agora estamos na 4ª revolução industrial e esforços estão sendo feitos para que geração de renda seja melhor distribuída.

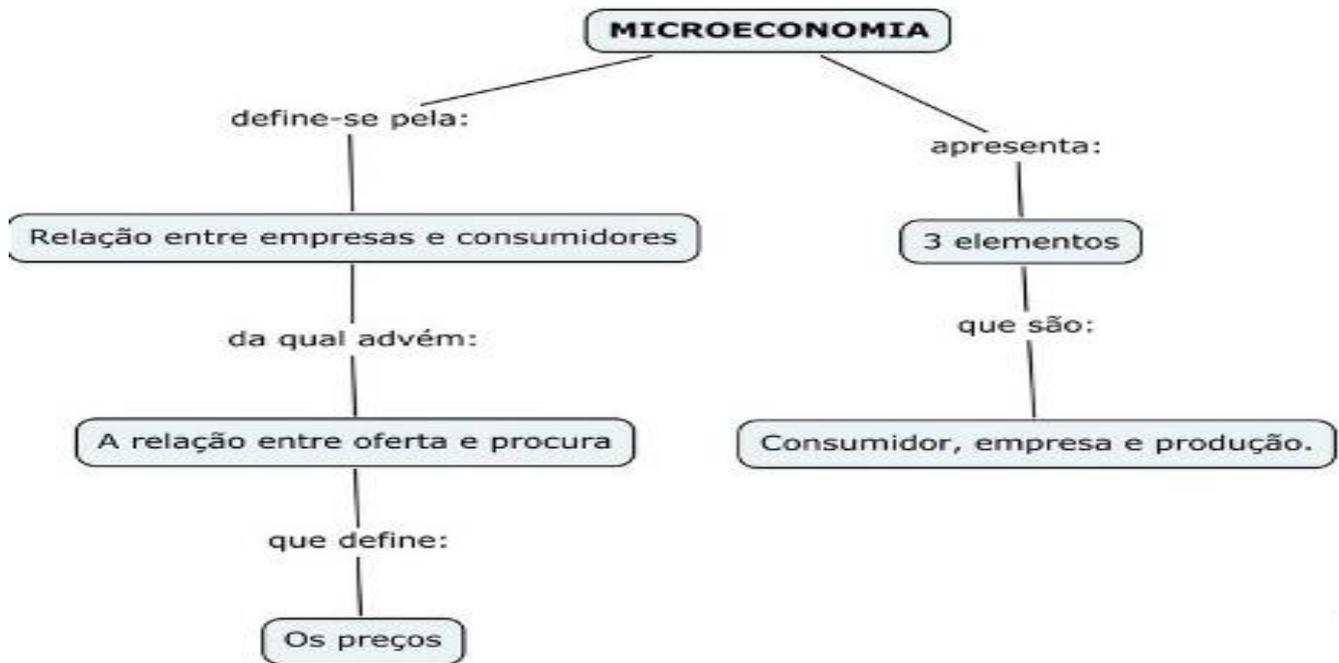
Vários esforços estruturados foram feitos no sentido fomentar nesse sentido (MCT, BASA, SEDEC, FUCAPI), sendo definidos a partir de estudos iniciais ao APLs e os setores de Fitoterápicos e Fitocosméticos, Fruticultura, Madeira-Móveis e Piscicultura, fomentando cadeias produtivas na Amazônia Ocidental e na Área de Livre Comércio de Macapá-Santana (ALCMS) (Santos, 2011).

por conseguinte, a academia de ciências pode contribuir no desenvolvimento de conhecimento para pesquisas e propostas de matrizes econômicas para mitigação de impactos ambientais e desenvolvimento econômico. As potencialidades naturais do Amazonas são necessários investimentos em infraestruturas e incentivos fiscais priorizando APL's estratégicas para o desenvolvimento do interior do estado : tais como: Fitoterápicos e fitocosméticos, Madeira, móveis e artefatos, Polpas, extratos e concentrados de frutas regionais Produção de pescado, Fécula e farinha de mandioca, Turismo ecológico e rural,- Artesanato regional,- Produtos florestais não madeireiros, Construção naval, Mineração. Listas atualizadas podem ser encontradas no site do Observatório brasileiro APL (FIEAM, 2022). Assim é necessário repensarmos investimentos em setores estratégicos para o Estado do Amazonas, procurando dinamizar a economia associando a Zona Franca a outros modelos de desenvolvimento econômico regional(Kamyle Medina Monte Rey, 2019).

3.3.3 Microeconomia

Enquanto a macroeconomia trata do estudo do comportamento global do sistema econômico refletido nos níveis de produção, níveis de emprego, níveis de preços e outros fatores intrínsecos ao setor, já a microeconomia desenvolve e implementa construções teóricas de modelos para análise e entendimento do comportamento das unidades econômicas ou agentes econômicos (famílias, empresas, consumidores, governos e outros) (Aguirre, 2020; Vial & Zurita, 2018), assim é necessário essa interação e coexistência desse âmbito para provisão de fundamentação para profundas inovações de gestão, governança e tecnologias (De La Cruz Cuadros & Papa Quiroz, 2014), o que é explicitado na Figura 8.

Figura 8: Mapa explicativo das abordagens microeconômicas



Fonte: (De La Cruz Cuadros & Papa Quiroz, 2014)

3.3.3.1 Potencial uso dos subprodutos na geração de tecnologias sustentáveis para abastecimento do mercado minerador para eliminação do mercúrio.

Os principais produtos da mandioca gerados para a cadeia industrial é a fécula de mandioca para abastecer grande parte das indústrias de: mineração, cosméticos, bebidas alcoólicas, remédios dentre outros (A. E. Burns et al., 2012). É importante citar que grande parte da produção de mandioca para abastecer esse mercado é oriunda de agricultores familiares dotados de tecnologias rústicas para síntese de produtos primários básicos (Siritunga & Sayre, 2004).

A forma tradicional de uso da mandioca é feita principalmente pela comunidade rural no local denominado ‘casa de farinha’ (Figura 9) onde os principais produtos extraídos para diversos fins mas principalmente alimentício são: Uso das folhas (Figura 10a) , Uso da manipueira (Figura 10b) e uso da raiz para produção de farinha (Figura 10c) , (DERAL, 2019)

Em 2017, havia 355.207 casas de farinha no Brasil e que em cada uma dela há de 5 a 10 pessoas portanto, podemos considerar que existe de 1,8 a 3,6 milhões de pessoas no Brasil envolvidas nessa atividade em casas de farinha. A renda média é de US\$ 200/mês/pessoa.

Os principais tipos de mandiocas usadas para produção de farinha nas “casas de farinhas” é a mandioca amarga (possuem acima de As lojas produzem farinha de mandioca amarga à ppm de cianeto em sua massa) pois tradicionalmente acreditam que é mais saboroso e que cresce rapidamente quando comparado a mandioca doce, numa das etapas da preparação da farinha é a trituração em que a mandioca é triturada e espremida obtendo-se 30-35% p/p de líquido (manipueira ou tucupi) que geralmente é descartado no ambiente , a massa os “farinheiros” usam fazer farinha aquecendo-a a 120 ° C.

Figura 9: Local de processamento da mandioca para produção de Farinha denominado “casa de farinha”, no Brasil



Fonte: autor

Figura 10: a - Folhas de mandioca , b – Manipueira / tucupi , c – raiz de mandioca com o córtex e pele aparente

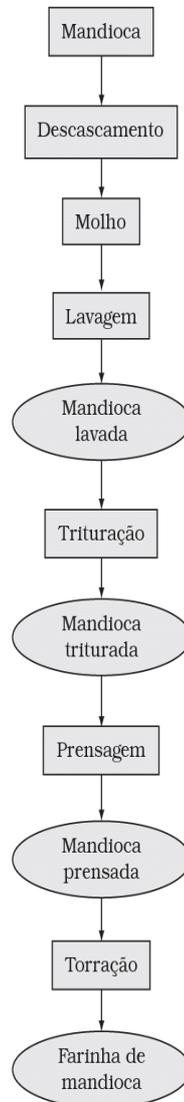


Fonte: (Torkaman et al., 2021)

3.3.3.2 Etapas da produção de farinha

A farinha é produzida seguindo as seguintes etapas: As etapas da produção da farinha, principal produto extraído da raiz é a farinha, pode haver variações no processo, mas, geralmente segue as etapas do fluxograma da Figura 11 que são: colher a mandioca no campo, descascar, pôr de molho ao menos 24 horas (essa etapa pode ser ignorada e ir direto pra trituração) , lavar com água corrente, triturar, prensar para tirar o líquido e torrar a 120°, o produto resultante é a farinha de mandioca que pode ter diversas granulometrias. Quando no processo de produção de farinha não se põem a farinha de molho na água, pode-se triturar diretamente e depois espremer a massa da mandioca, o líquido que sai é a manipueira que é descartada no ambiente, por vezes uma pequena quantidade desta é vendida em forma de tucupi (manipueira que foi submetido à fervura e temperado com ervas e pimentas).

Figura 11: Ilustração da etapa do processo e fabricação de farinha típico da Amazônia



Fonte: (Chisté, Cohen, Mathias, et al., 2007)

3.3.3.3 Potencialidades do uso da mandioca como tecnologia social

Além da subsistência social como fator gerador da manutenção das atividades produtivas quase que de modo arcaico como pouco incremento de tecnologia, o beneficiamento da mandioca apresenta-se como uma opção para o setor de agronegócio de pequena escala, visto que novos produtos podem ser gerados e que podem sintetizar produtos de alto valor tecnológico agregado para na indústria ou agronegócio. (Adriano, 2013) .

→ Outros produtos possíveis de agregação de valor na cadeia de produção da mandiocultura são:

→ carvão ativado - da casca da raiz para ser utilizado para diversos fins industriais: filtros de máscaras de gás, para adsorção de metais nobres, corantes de roupas, usos em estações de tratamento de esgoto ou tratamento de água.

→ Síntese de fenação - a partir das folhagens e caules para nutrição de animais visando suprir a demanda de ração, propiciando rápida desidratação para conservação dos valores nutritivos.

→ Síntese e estabilização de Cn- para uso na mineração artesanal visando a eliminação de mercúrio na extração de ouro e outros minerais, estudos demonstra que a mineração em rios são feitos por dragas (balsas de grande porte de metal) podendo minerar 2.5 kg de ouro ao mês e Balsa (balsas menores que as dragas sendo sua construção em madeira) podendo minerar 400/500 g de ouro ao mês Stream 2020, a cada tonelada de mandioca moída e prensada pode-se extrair 300/350 litros de manipueira, podendo ser utilizado nesse contexto.

No estado do Amazonas produz-se anualmente (2020) cerca de 1.2 milhões de toneladas de mandioca, (Figura 5; Gráfico 6) (DERAL, 2019) 30% dessa massa é líquido (chamada manipueira) e a quantidade de cianeto livre pode variar de 300 a 900 ppm (111 a 334 toneladas), o valor comercial da tonelada de cianeto de sódio ou cianeto de potássio é de \$2,000, portanto a receita para o Estado do Amazonas com o implemento da transformação de manipueira em produtor comercial para fornecimento para setor mineral seria entre 223 a 991 milhões de dólar (Tabela 3), esses cálculos referem-se somente às raízes, mas esses resultados podem ser potencializados pois é possível aumentar o nível de cianeto na produção final, pois, pode-se extrair também cianeto das folhas e galhos que possuem maior concentração em relação as raízes. Na tabela 3, o autor faz uma projeção do resultado financeiro do potencial uso da manipueira com uso tecnológico.

Tabela 3: Quadro comparativo da produção potencial de cianeto no estado do AMAZONAS – BRASIL a partir da produção de mandioca

Produtividade Bruta anual de mandioca	Geração de manipueira 30% a 40% (l)	Produção Cn- (300 – 900 ppm) (t)	Cn- (t) Valor de Mercado dólar	Resultado (milhões em dólar)
1.239.598 toneladas	371.879 – 495.839	111.6 – 334,7	2000	223 a 991

Fonte: O autor, projeção de receitas a partir do uso tecnológico da manipueira, utilizando dados de acordo com o mapa de produção de mandioca do (DERAL, 2019)

3.3.3.4 Ecotecnologia - Impactos esperados com a implantação da de cianeto de origem natural para fornecimento a mineração em substituição ao mercúrio

Ecotecnologia são objetos de estudos que visam implementar novas cadeias de valores em sistemas econômicos de modo a valorizar o desenvolvimento sustentável de uma micro região, isto é, todos os agentes envolvidos, de modo que haja equilíbrio no corpo social, economia e ambiente em que se estrutura os negócios econômicos. Os elementos trazidos aqui são: 1 - A agricultura familiar; 2- apoio institucional do estado e de ongs - em forma de (Assistência técnica, extensão rural e mais recentemente gerencial -ATERg, Associações, Cooperativas, Organizações não governamentais - ONG's e outros modelos de grupos organizados); 3- Os Arranjos Produtivos Locais (APLs).

→ A agricultura familiar – que se trata de um setor extremamente importante para o desenvolvimento Socioambiental e econômico de uma agricultura amazônica estruturada sobre três pilares: Segurança alimentar, bem estar da sociedade humana e conservação dos recursos ambientais. Souza et al. 2018. As particularidades territoriais do Brasil fazem com que cada região tenha peculiaridades em seu modo de produção agro econômica e isso traz impactos diretos na viabilidade econômica da agricultura regional. Então a partir desta perspectiva o enfoque na agricultura sustentável e diversificada como modelo produtor de alimentos, deve coexistir a contexto apropriados específicos de: logística; condições edafoclimáticos; acesso aos mercados; infraestrutura; acesso a crédito e assistência técnica.

→ Nesse contexto instituições (Assistência técnica, extensão rural e mais recentemente gerencial -ATERg, Associações, Cooperativas, Organizações não governamentais - ONG's e outros modelos de grupos organizados) são importantes, pois, promovem soluções aos gargalos regionais (limites da viabilidade econômica e agrônômica) que determina, para além dos fatores de terra, capital e mão de obra, os resultados das atividades agrícolas regionais. Noda et al 2013.

→ A rede abastecedora de agronegócio trata-se de um “Aspecto” da cadeia produtiva para transferência de tecnologia atuante no agronegócio regional, pois além de absorver as peculiaridades da agricultura regional, busca entender os atores da dinâmica envolvido no mercado e integra-lo ao conceito (4.0), este se refere a técnicas inovadoras e integrada aos conceito de economia circular e desenvolvimento sustentável, atuando na Implantação de unidades de referências tecnológicas.

→ Os Arranjos Produtivos Locais (APLs) e outras estratégias para o desenvolvimento sustentável , APL, genericamente, é a aglomeração territorial de Agentes Econômicos, Políticos e Sociais, focando um conjunto específico de Unidades Econômicas (agropecuárias, florestais, industriais e serviços), que apresentam articulações mesmo que incipientes.

A fim de facilitar o fortalecimento às atividades de agribusiness face aos direitos constitucionais: direito de propriedade (segurança jurídica) em esferas (estadual, nacional, internacional) convênios, financiamentos, empréstimos é o primeiro passo para conservação dos recursos naturais e produção rural sustentável, o estudo e entendimento desses elos da cadeia produtiva, pode vir a alavancar um polo de bioeconomia regional.

A implementação de novas perspectivas tecnológicas parte do pressuposto de intensa interação dos diversos elementos das camadas sociais (universidade, governo, iniciativa privada etc.) sendo que os resultados esperados de uma possível implantação dessas tecnologias ao processo produtivo são:

- Instalação de infraestrutura de apoio (a implantação de unidades de referências tecnológicas & economia circular)
- acompanhamento técnico (para agricultores familiares locais) na Cadeia logística de produção e abastecimento do mercado metropolitano, fortalecendo a microeconomia da produção familiar sustentável,
- fixação de jovens na terra e gerando renda e Instalação da Economia circular
- Redução da perda e desperdício de alimentos na Cadeia logística de produção e abastecimento incluindo otimização e dimensionamento de processos, bancos de dados de alimentos e valorização de subprodutos;

Avaliação do ciclo de vida e tecnologia de alimentos, incluindo novas áreas como Ciência ambiental; ciência automação, sistemas de inovação de alimentos, microbiologia, biologia molecular; nutrição; melhoramento de plantas / genética; patologia das plantas; fisiologia pós-colheita; Ciência do Solo; e ciência de ervas daninhas.

3.8 Proposta de modelo econômico alternativo para desenvolvimento sustentável de polos microeconômicos em (Bioeconomia circular) na Amazônia (Figura 12)

De forma sistematizada em forma de fluxograma é apresentado uma proposta de modelo econômico alternativo de uma rede abastecedora de negócios é apresentado em três níveis (step 1, step 2 e step 3).

O step 1 resumidamente fornece ao sistema (step 2 e step 3) recursos financeiros e também rede de parceiros fomentadores públicos e privados.

O step 2, constitui o laboratório de ideias, estudos e pesquisas tecnológicas que serão os transferidores de tecnologias ao (step 3 – ambiente de microeconomia regional).

O step 3 – ambiente de microeconomia regional), é composto pela assistência técnica e gerencial – elo entre o laboratório de geração de estudos na etapa 2 e os agentes propriamente dito dos setores geradores de matéria primas do setor primário, detalhado na tabela 4 – principais setores do agronegócio representado por pelas letras (A, B, C, D, E). em resumo teremos os seguintes resultados:

Step 1 provedor de fomentos e recursos financeiros (parceiros estratégicos)

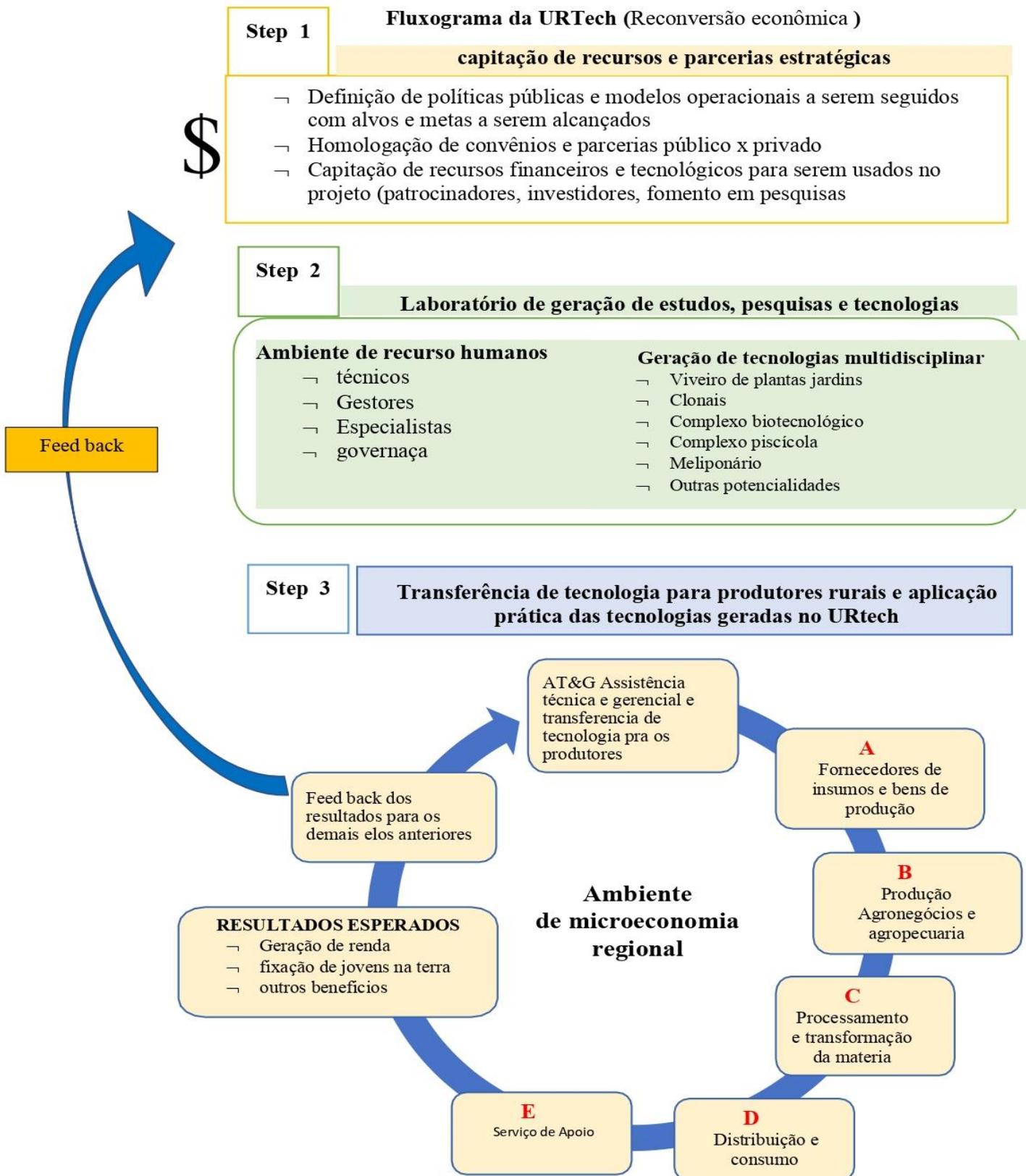
Step 2 Laboratório de estudos, pesquisas e tecnologias

Step 3 transferência de tecnologias para o setor de produção primaria (URtech)

- AT&G
- A - Suppliers of inputs and production goods
- B - Agricultural production
- C - Processing and transformation
- D - Distribution and consumption
- E - Support services
- RESULTADOS
- FEDD BACK

De forma sinérgica a Figura 12 une os valores conceituais da (Bioeconomia; Economia circular; Arranjo produtivos locais; Bioeconomia circular; Microeconomia), o efeito prático dessa combinação é a interação dos processos e teorias econômicas que ocorre em cada uma das etapas de geração de processos, produtos e valores, e geração de novos valores e serviços na microeconomia regional.

Figura 12: Proposta de modelo econômico alternativo para desenvolvimento sustentável de polos microeconômicos em (bioeconomia circular) na Amazônia



Fonte: (O autor)

Tabela 4: Os principais setores do agronegócio

A	B	C	D	E
Fornecedores de insumos e bens de produção	Produção agropecuária	Processamento e transformação	Distribuição e consumo	Serviços de apoio
Sementes	Produção animal	Alimentos	Restaurantes	Agrônômicos
Calcário	Lavouras permanentes	Têxteis	Hotéis	Veterinários
Fertilizantes	Lavouras temporárias	Vestuários	Bares	Pesquisas
Raços	Horticultura	Calçados	Padarias	Bancários
Defensivos	Silvicultura	Madeira	Feiras	Marketing
Produtos veterinários	Floricultura	Etanol	Supermercados	Vendas
Combustíveis	Extração vegetal	Papel e papelão	Comércio	Transportes
Tratores	Indústria rural	Fumo	Exportação	Portos
Colheitadeiras		Óleos essenciais		Bolsas
Implementos				Seguros
Maquinas				
Motores				

Fonte: (Judas Tadeu Grassi Mendes, 2007)

4. Considerações finais

É possível encontrar de forma abundante produtos cianogênicos em (caule, folhas e raízes) de mandioca – planta comestível da Amazônia, e gerar de 111 a 334 mil toneladas de CN-, o descarte inadequado desse produto pode levar a uma série de problemas ambientais, mas que com o estudo e pesquisas tecnológicas apresenta-se como solução para erradicação do mercúrio na mineração artesanal. Compreender e estabelecer os métodos apropriados de estabilização do CN- ajudará a implementar nova tecnologia no setor mineral e ao mesmo tempo em reduzir problemas de contaminação por mercúrio, propositalmente será necessário reorganizar o setor microeconômico produtor de mandioca na Amazônia (A agricultura familiar) com a ajudar e apoio institucional do Estado e de ongs - em forma de (Assistência técnica, extensão rural e mais recentemente gerencial -ATERg) para que os Arranjos Produtivos Locais (APLs) permitir completa interação dos fatores produtivos da economia (terra, mão de trabalho e capital).

É necessário estudos para avaliação para aproveitamento de subprodutos de mandioca que podem ter altíssimo valor agregado e que atualmente estão sendo descartados como rejeitos.

- Há subprodutos que podem entrar na cadeia produtiva da mandioca: carvão ativado, manipueira para síntese de cianeto de origem natural, folhagem para produção de fenagem, amido para fornecimento a indústria.
- A síntese de cianeto de origem natural pode trazer anualmente o aporte de \$223 a \$991 milhões de dólares à micro economia das comunidades produtoras de mandiocas.
- O cianeto de origem natural pode contribuir para erradicação de uso de mercúrio nos garimpos evitando assim a contaminação do meio ambiente.
- A fim de facilitar o fortalecimento às atividades de agribusiness, nesse contexto instituições (Assistência técnica, extensão rural e gerencial -ATERg, Associações, Cooperativas, Organizações não

→ Novos modelos econômicos para a região amazônica devem ser considerados nas formulações de políticas públicas, novos modelos de gestão e governança e os Arranjos Produtivos Locais (APLs) apresentam-se como uma opção para o setor de agronegócio da mandioca, que podem sintetizar produtos de alto valor tecnológico agregado na indústria ou agronegócio da mandiocultura.

As próximas etapas deste trabalho é buscar e caracterizar variedade (genótipos) de mandioca de alto teor de cianeto e iniciar os estudos para estabilização da volatização de cianeto livre.

Conclusão geral

No capítulo I desta Tese foi abordada a tecnologia para síntese de cianeto de origem natural a partir de mandioca para aplicação na mineração enquanto que no capítulo II, buscou-se dar subsidio teórico para um modelo econômico alternativo para uso dos recursos naturais para o fortalecimento da economia regional.

O desenvolvimento da tecnologia para síntese de cianeto livre para erradicação de contaminação e poluição ambiental (no caso abordado foi o mercúrio) a partir de fonte renovável de planta cianogénica amazônica é inédito e abre caminho para que o uso sustentável dos recursos naturais de forma inteligente e viável economicamente, pois não é necessário criar uma indústria (da mandiocultura) ou sistema comercial inexistente, pois o uso da mandioca faz parte dos costumes e culinária do povo amazônico, sendo assim, já existe um sistema produtivo rústico que precisa ser aperfeiçoado dentro de um modelo de gestão de propriedade rural com foco a aperfeiçoar o processo produtivo e tecnológico dos produtos em circuito e escala, pois se percebe o *modo operantis* ainda ultrapassado tecnologicamente, que pode, com a geração e transferência de tecnologia abordado no capítulo II, juntamente com o processo tecnológico abordado no capítulo I, criar um modelo econômico auxiliar e gerar economia e renda para o Amazonas.

Conclusão do Capítulo I

- O método de teste até então utilizado seguindo o protocolo de análise do CN- depois de 10 minutos a partir do início do experimento é limitado, uma vez que teste adicionais demonstraram que a liberação de cianeto livre se prolonga por horas, então é correto afirmar que em 10 minutos, essa análise não faria a correta leitura.
- A estabilização do pH da manipueira logo no início da maceração (esmagamento/trituração) da raiz, utilizando carbonato de sódio (Na_2CO_3) inibe a liberação de CN-.
- A estabilização da mandioca imediatamente após o esmagamento e a extração do caldo (manipueira) implicam em rápida redução dos teores de cianeto livre.
- Foi identificado seis genótipos (variedades) de mandiocas com alto teor de cianeto: rr1 250 ppm; rr2 350 ppm ;rr3 450 ppm; rr4 325; rr5 750ppm e rr6 900 ppm, código das variedades e teor de cianeto em ppm respectivamente
- As variedade de alto teor são de ambientes suscetíveis a estresses hídricos, tanto pela falta quanto pelo excesso desde.
- Nas variedades de mandiocas analisadas, os fatores climáticos (disponibilidade hídrica e umidade) influenciaram diretamente nos teores de cianeto encontrado nas raízes.

- Apesar de picos de altos valores de concentração de ppm em diferentes tempos, observou-se que no tempo 3 (às 3 horas de início de teste) obteve-se os maiores teor de cianeto para a maioria das amostras de manipueira.
 - O genótipo com maior teor de cianeto livre foi a variedade rr6, com 900 ppm, equivalente a 0.9g de cianeto por litro de manipueira, este genótipo foi coletado no sul do Pará em condições ambientais de alta umidade e forte hidroestrex, local onde foram plantadas as mandiocas. com frequência (2000mm de chuva anual) nascente e fica alagado, se nestas condições as mandiocas não forem colhidas antes de 12 meses apodrecem e não podem ser aproveitadas.
 - A maioria dos genótipos testados apresentou concentração de CN livre estável dentro de 8 horas do teste.

Conclusão do Capítulo II

É possível encontrar de forma abundante produtos cianogênicos em (caule, folhas e raízes) de mandioca – planta comestível da Amazônia, e gerar de 111 a 334 mil toneladas de CN-, o descarte inadequado desse produto pode levar a uma série de problemas ambientais, mas que com o estudo e pesquisas tecnológicas apresenta-se como solução para erradicação do mercúrio na mineração artesanal. Compreender e estabelecer os métodos apropriados de estabilização do CN- ajudará a implementar nova tecnologia no setor mineral e ao mesmo tempo em reduzir problemas de contaminação por mercúrio, propositalmente será necessário reorganizar o setor microeconômico produtor de mandioca na Amazônia (A agricultura familiar) com a ajudar e apoio institucional do Estado e de ongs - em forma de (Assistência técnica, extensão rural e mais recentemente gerencial -ATERg) para que os Arranjos Produtivos Locais (APLs) permitir completa interação dos fatores produtivos da economia (terra, mão de trabalho e capital).

É necessário estudos para avaliação para aproveitamento de subprodutos de mandioca que podem ter altíssimo valor agregado e que atualmente estão sendo descartados como rejeitos.

- Há subprodutos que podem entrar na cadeia produtiva da mandioca: carvão ativado, manipueira para síntese de cianeto de origem natural, folhagem para produção de fenagem, amido para fornecimento a indústria.

- A síntese de cianeto de origem natural pode trazer anualmente o aporte de \$223 a \$991 milhões de dólares à micro economia das comunidades produtoras de mandiocas.

- O cianeto de origem natural pode contribuir para erradicação de uso de mercúrio nos garimpos evitando assim a contaminação do meio ambiente.

- A fim de facilitar o fortalecimento às atividades de agribusiness, nesse contexto instituições (Assistência técnica, extensão rural e gerencial -ATERg, Associações, Cooperativas,

Organizações não governamentais - ONG's e outros modelos de grupos organizados) são importantes, para promoverem soluções aos gargalos regionais (limites da viabilidade econômica e agrônômica).

→ Novos modelos econômicos para a região amazônica devem ser considerados nas formulações de políticas públicas, novos modelos de gestão e governança e os Arranjos Produtivos Locais (APLs) apresentam-se como uma opção para o setor de agronegócio da mandioca , que podem sintetizar produtos de alto valor tecnológico agregado na indústria ou agronegócio da mandiocultura.

Próximas etapas do projeto

- As próximas etapas necessárias é a lixiviação de ouro de minérios ou concentrados por cianeto obtido das plantas.
- Caracterizar mais variedade (genótipos) de mandioca de alto teor de cianeto
- Realizar testes adicionais na cinética da formação do CN livre em função do tempo na manipueira.
- Continuar os estudos para estabilização da volatilização de cianeto livre em condições naturais e temperatura ambiente.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo.

Ao Projeto Posgrad 2021 da FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas).

Referências

- ABAM. (2021). *Pará teve safra recorde de mandioca em 2021*. <https://abam.com.br/para-teve-safra-recorde-de-mandioca-em-2021/>
- Adriano, B. (2013). ESTUDO SOBRE A CADEIA PRODUTIVA DA MANDIOCA. *RevistaEa.Org*. <https://revistaEa.Org/pf.php?idartigo=3096>
- Aguirre, J. C. (2020). Microeconomía I. *Consortio de Investigación Económica y Social; OSITRAN, 1*.
- Alexander Essers, A. J. (1994). FURTHER IMPROVING THE ENZYMIC ASSAY FOR CYANOGENS IN CASSAVA PRODUCTS. *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.375.7>
- Aliprandini, P., Veiga, M. M., Marshall, B. G., Scarazzato, T., & Espinosa, D. C. R. (2020). Investigation of mercury cyanide adsorption from synthetic wastewater aqueous solution on granular activated carbon. *Journal of Water Process Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101154>
- Araújo, S. M. S. de. (2011). A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. *Rios Eletrônica- Revista Científica Da FASETE*, 1(5), 10. https://www.unirios.edu.br/revistarios/media/revistas/2011/5/a_regiao_semiarida_do_nordeste_do_brasil.pdf
- Aristizábal-H, G. A., Restrepo-B, O. J., & Delgado-J, J. A. (2017). Contribution of Artisanal and Small-Scale Mining to Sustainable Territorial Development through Strengthening Capabilities of Mining Communities. *Geo-Resources Environment and Engineering*. <https://doi.org/10.15273/gree.2017.02.036>
- Baena, Ó. J. R., & Mendoza, L. E. M. (2021). Sustainability of the artisanal and small-scale gold mining in northeast antioquia-colombia. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13169345>
- Baltz, R. H. (2017). Gifted microbes for genome mining and natural product discovery. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s10295-016-1815-x>
- Bansah, K. J., Yalley, A. B., & Dumakor-Dupey, N. (2016). The hazardous nature of small scale underground mining in Ghana. In *Journal of Sustainable Mining*. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2016.04.004>
- Barney, K. (2018a). Reassembling informal gold-mining for development and sustainability? In *Between the Plough and the Pick*.
- Barney, K. (2018b). Reassembling informal gold-mining for development and sustainability? Opportunities and limits to formalisation in India, Indonesia and Laos. In *Between the Plough and the Pick: Informal, artisanal and small-scale mining in the contemporary world*. <https://doi.org/10.22459/bpp.03.2018.16>
- Białek M., Białek A., Czuderna M., Tsoutsos, D., Kakagia, D., Tamparopoulos, K., Mazzulla, S., Anile, D., Sio, S. De, Scaglione, A., Seta, M. De, Anile, A., Wang, D. H., Wang, Z. Z. X. Z. Z. Z., Le, K. P., Cortright, J. R., Park, H. G., Tobias, H. J., Brenna, J. T. T., ... Mikulska, M. (2016). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Meat Science*. <https://doi.org/10.1139/y05-149>
- Bolarinwa, I. F., Oke, M. O., Olaniyan, S. A., & Ajala, A. S. (2016). A Review of Cyanogenic Glycosides in Edible Plants. In *Toxicology - New Aspects to This Scientific Conundrum*. InTech. <https://doi.org/10.5772/64886>
- Brabo, R. N. (2007). O Trio da Produtividade na mandioca. *Embrapa Amazônia Oriental*, 16. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28082/1/Doc284.pdf>
- BRASIL. (2017). *Conceito de Arranjo Produtivo Local - APL*:
- BRASIL. (2021). *Conceito de Arranjo Produtivo Local - APL*. <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/arranjos-produtivos-locais-apl>
- British Standards Institute. (2017). BS 8001-2017 Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide. *BSI Standards Limited*.
- BSI. (2017). *Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations-guide*

- (B. Standards (ed.)). BSI.
- Burns, A. E., Gleadow, R. M., Zacarias, A. M., Cuambe, C. E., Miller, R. E., & Cavagnaro, T. R. (2012). Variations in the Chemical Composition of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Leaves and Roots As Affected by Genotypic and Environmental Variation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(19), 4946–4956. <https://doi.org/10.1021/jf2047288>
- Burns, A., Gleadow, R., Cliff, J., Zacarias, A., & Cavagnaro, T. (2010). Cassava: The Drought, War and Famine Crop in a Changing World. *Sustainability*, *2*(11), 3572–3607. <https://doi.org/10.3390/su2113572>
- Butler, G. W., Reay, P. F., & Tapper, B. A. (1973). Physiological and genetic aspects of cyanogenesis in cassava and other plants. In *Chronic Cassava Toxicity Proceedings of an Interdisciplinary Workshop: Vol. v. 1973*.
- CAGNON, J. R., CEREDA, M. P., & PANTAROTTO, S. (2002). Glicosídeos cianogênicos da mandioca: biossíntese, distribuição, destoxificação e métodos de dosagem. *Agricultura: Tuberosas Amiláceas Latino Americanas*. São Paulo: Fundação Cargill, *2*, 83–99.
- Carvalho, A. P. de. (2015). Objetivos do desenvolvimento sustentável. *GV-Executivo*, *14*(2). <https://doi.org/10.12660/gvexec.v14n2.2015.56854>
- Chisté, R. C., Cohen, K. de O., Mathias, E. de A., & Ramoa Júnior, A. G. A. (2007). Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, *27*(2), 265–269. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000200009>
- Chisté, R. C., Cohen, K. de O., & Oliveira, S. S. (2007). Estudo das propriedades físico-químicas do tucupi. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, *27*(3), 437–440. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000300002>
- Cleary, D., & Cleary, D. (1990). Serra Pelada: The Gold Rush on the National Stage. In *Anatomy of the Amazon Gold Rush*. https://doi.org/10.1007/978-1-349-11247-0_7
- Clifford, M. J. (2014). Future strategies for tackling mercury pollution in the artisanal gold mining sector: Making the Minamata Convention work. *Futures*. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.05.001>
- CNI. (2020). *BIOECONOMIA E A INDÚSTRIA BRASILEIRA*. https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/cd/ed/cded4159-a4c5-474d-9182-dd901b317e1c/bioeconomia_e_a_industria_brasileira.pdf
- Cock, J. H. (2019). *Cassava*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429049064>
- CROPLIFE BRASIL. (2022). *Conceitos Bioeconomia, empregando soluções disruptivas para uma sociedade sustentável*. <https://croplifebrasil.org/conceitos/bioeconomia-empregando-solucoes-disruptivas-para-uma-sociedade-sustentavel/>
- de Bruijn, G. H. (1971). *Étude du caractère cyanogénétique du manioc: (Manihot esculenta Crantz)*. Veenman. <https://books.google.com.br/books?id=hqSzzgEACAAJ>
- De La Cruz Cuadros, L. H., & Papa Quiroz, E. A. (2014). MÉTODO DEL PUNTO PROXIMAL y SUS APLICACIÓN A MODELOS ECONÓMICOS. *Pesquimat*, *15*(1). <https://doi.org/10.15381/pes.v15i1.9605>
- De Oliveira Faria, E., & De Azevedo Caldeira Pires, A. (2020). ECONOMIA CIRCULAR E BIOECONOMIA: UM NOVO CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE? *SINERGIA - Revista Do Instituto de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis*, *25*(1). <https://doi.org/10.17648/2236-7608-v25n1-11530>
- DERAL. (2019). *No Title*. https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2019-12/Mandioca_2020.pdf
- Diaz, A., Portus, M., & Silva, M. (1978). Algumas plantas cianogenéticas da região amazônica. *Acta Amazonica*, *8*, 679–685. <https://doi.org/10.1590/1809-43921978084679>
- Diaz, A. M. P. de, Portus, M. I. G., & Silva, M. F. da. (1978). Algumas plantas cianogenéticas da região amazônica. *Acta Amazonica*, *8*(4), 679–685. <https://doi.org/10.1590/1809-43921978084679>
- Eduardo de Freitas. (2022). *Características naturais do nordeste*. <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/caracteristicas-naturais-nordeste.htm>

- Embrapa. (2022). *Bioeconomia: a ciência do futuro no presente*. <https://www.embrapa.br/tema-bioeconomia/sobre-o-tema>
- EMBRAPA. (n.d.). *Bioeconomia*. <https://www.embrapa.br/tema-bioeconomia>
- EMBRAPA. (2003). *No Title*. 13(Sistemas de Produção, 13 ISSN 1678-8796 Versão eletrônica Jan/2003).
[https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para/importancia.htm#:~:text=A mandioca é cultivada em,áreas pobres da Região Nordeste.](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para/importancia.htm#:~:text=A%20mandioca%20%C3%A9%20cultivada%20em,%C3%A9reas%20pobres%20da%20Regi%C3%A3o%20Nordeste.)
- EMBRAPA. (2017). *500 Perguntas, 500 respostas*. <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca>
- Esdaille, L. J., & Chalker, J. M. (2018). The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. In *Chemistry - A European Journal*. <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>
- FAO. (2022). *Top 10 Country Production of Cassava 2020*. https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
- FIEAM. (2022). *A Zona Franca de Manaus e o IPI*. <http://www.fieam.org.br/fieam/2022/03/15/a-zona-franca-de-manaus-e-o-ipi/>
- García, O., & Molina, J. (2011). Introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales, en el nordeste antioqueño y bajo cauca antioqueño, Colombia. *Técnicas Aplicadas a La Caracterización y Aprovechamiento de Recursos Geológico-Mineros*.
- García, O., Veiga, M. M., Cordy, P., Suescún, O. E., Molina, J. M., & Roeser, M. (2015). Artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: A successful case of mercury reduction. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.032>
- Godoy, A. S. (1995). Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 35(3 SE-RAE-Artigos), 20–29.
<https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rae/article/view/38200>
- Gu, B., Yao, Q., Li, K., & Chen, S. (2013). Change in physicochemical traits of cassava roots and starches associated with genotypes and environmental factors. *Starch - Stärke*, 65(3–4), 253–263.
<https://doi.org/10.1002/star.201200028>
- Guimarães, D. L. F., Silva, R. N. da, Andrade, H. M. L. da S., & Andrade, L. P. de. (2022). Cadeia produtiva da mandioca no território brasileiro inovações e tecnologias uma revisão sistemática da literatura: uma revisão sistemática da literatura. *Diversitas Journal*, 7(1), 0017–0025.
<https://doi.org/10.48017/dj.v7i1.2009>
- Hentschel, T., Hruschka, F., & Priester, M. (2002). Global report on artisanal and small-scale mining. In *Mining, Minerals and Sustainable Development*.
- Hernández-Allica, J., Becerril, J. M., Zárate, O., & Garbisu, C. (2006). Assessment of the efficiency of a metal phytoextraction process with biological indicators of soil health. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4081-7>
- Hilson, G., McQuilken, J., & Hilson, A. (2016). Ethical minerals: Fairer trade for whom? *Resources Policy*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.05.002>
- Hilson, Gavin, & Monhemius, A. J. (2006). Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future? *Journal of Cleaner Production*, 14(12–13), 1158–1167.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.005>
- Holley, E. A., Smith, N. M., Delgado Jimenez, J. A., Cabezas, I. C., & Restrepo-Baena, O. J. (2020). Socio-technical context of the interactions between large-scale and small-scale mining in Marmato, Colombia. *Resources Policy*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101696>
- IBGE. (2020). *Produção Agrícola - Lavoura Temporária*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10334?localidade1=13&localidade2=15>
- Jacobi, P. (2015). *Ouro. Qual o melhor método de lixiviação: tiosulfato ou cianetação?*
[http://www.geologo.com.br/MAINLINK.ASP?VAIPARA=tiosulfato ou cianetação#:~:text=A lixiviação de ouro com,de ouro%2C sódio e cianeto.](http://www.geologo.com.br/MAINLINK.ASP?VAIPARA=tiosulfato%20ou%20cianeta%C3%A7%C3%A3o#:~:text=A%20lixivia%C3%A7%C3%A3o%20de%20ouro%20com,%20de%20ouro%20%C3%A9%20s%C3%B3dio%20e%20cianeto.)
- Jaszczak, E., Polkowska, Ż., Narkowicz, S., & Namieśnik, J. (2017). Cyanides in the environment—analysis—problems and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9081-7>

- Jørgensen, K., Bak, S., Busk, P. K., Sørensen, C., Olsen, C. E., Puonti-Kaerlas, J., & Møller, B. L. (2005). Cassava Plants with a Depleted Cyanogenic Glucoside Content in Leaves and Tubers. Distribution of Cyanogenic Glucosides, Their Site of Synthesis and Transport, and Blockage of the Biosynthesis by RNA Interference Technology. *Plant Physiology*, 139(1), 363–374. <https://doi.org/10.1104/pp.105.065904>
- Judas Tadeu Grassi Mendes, J. B. P. J. (2007). *Agronegócio: uma abordagem econômica*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- K. Nyirenda, K. (2021). Toxicity Potential of Cyanogenic Glycosides in Edible Plants. In *Medical Toxicology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91408>
- Kamyle Medina Monte Rey. (2019). *ZONA FRANCA DE MANAUS: ANÁLISE DOS 50 ANOS DE ATUAÇÃO ESTATAL NO ÂMBITO DA SUFRAMA EM BUSCA DA PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA*.
- Lima, R. G. de, Silva, R. B. da, & Lima, H. R. da S. de. (2017). Levantamento etnobotânico no entorno do Jardim Botânico Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas. *Scientia Amazonia*, 6(2), 63–73.
- Logsdon, Mark, Hagelstein, K., & Mudder, T. (1999). *The Management of Cyanide in Gold Extraction. International Council on Metals and the Environment (ICME)*. International Council on Mining and Metals (ICMM).
- Maia, V. dos S. F., Shibata, A. E., & Romão, E. M. (2021). Revisão dos novos modelos de produção: Economia Circular, Bioeconomia e Biosociedade. *Research, Society and Development*, 10(9). <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18539>
- Marshall, B. G., & Veiga, M. M. (2017). Formalization of artisanal miners: Stop the train, we need to get off! In *Extractive Industries and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2017.02.004>
- Matos, M., Cassiolato, J., Lastres, H., Lemos, C., & Szapiro, M. (2017). *Arranjos produtivos locais: referencial, experiências e políticas em 20 anos da Redesist*.
- McMohan, J. M., White, W. L. B., & Sayre, R. T. (1995). Cyanogenesis in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Experimental Botany*, 46(288), 731–741. <http://www.jstor.org/stable/23694927>
- Møller, B. L. (2010). Functional diversifications of cyanogenic glucosides. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(3), 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.01.009>
- Moraes, L. A. C., Moreira, A., & Tsai, S. M. (2011). Estado nutricional e teor de glicosídeos cianogênicos em plantas de seringueira. *Bragantia*, 70(2), 402–408. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000200022>
- Nhassico, D., Muquingue, H., Cliff, J., Cumbana, A., & Bradbury, J. H. (2008). Rising African cassava production, diseases due to high cyanide intake and control measures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(12), 2043–2049. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3337>
- Ogbonnaya, N. (2016). Linamarase production by some microbial isolates and a comparison of the rate of degradation of cassava cyanide by microbial and cassava linamarases. *Hemijaska Industrija*, 70(2), 129–136. <https://doi.org/10.2298/HEMIND141028021O>
- ONU. (2022). *FAO*. https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
- ONU, P. (2018). Transformando Nosso Mundo. *AmbientalMENTEsustentable*, 25(1), 171–190. <https://doi.org/10.17979/ams.2018.25.1.4655>
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*.
- Piquet, R., Rangel, H. C., & De Castro, R. (2020). FLUXOS TRANSNACIONAIS E ESPAÇOS EM RECONVERSÃO ECONÔMICA: ANÁLISE DO CASO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BARRA, RJ. *Geo UERJ*, 36. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.48416>
- Qin, Y., Duan, B., Shin, J.-A., So, H.-J., Hong, E.-S., Jeong, H.-G., Lee, J.-H., & Lee, K.-T. (2021). Effect of Fermentation on Cyanide and Ethyl Carbamate Contents in Cassava Flour and Evaluation of Their Mass Balance during Lab-Scale Continuous Distillation. *Foods*, 10(5), 1089. <https://doi.org/10.3390/foods10051089>
- Rodrigues, P. T. A., & Orlandelli, R. C. (2018). Plantas como Ferramentas para a Remediação Ambiental: uma Revisão da Literatura. *UNICIÊNCIAS*. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2018v22n1p38-44>
- Salas-Banuet, G., Restrepo Baena, O. J., Cockrell, B. R., Ramírez-Vieyra, J., & Noguez-Amaya, M. E. (2012). La química y la ciencia e ingeniería de los materiales. *DYNA (Colombia)*, 79(175 E).

- Santos, M. R. dos. (2011). *Arranjos produtivos locais e biodiversidade na Amazônia: perspectivas do APL de Fitoterápicos e Fitocosméticos e resultados das iniciativas de apoio nos municípios de Manaquiri e Barreirinha - AM* [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.8.2011.tde-08052012-121134>
- Seccatore, J., & de Theije, M. (2017). Socio-technical study of small-scale gold mining in Suriname. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.119>
- Seccatore, J., Veiga, M., Origliasso, C., Marin, T., & De Tomi, G. (2014). An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.003>
- SEDAP. (2022). *VALOR BRUTO DE PRODUÇÃO DO ESTADO DO PARÁ 2022*. [http://www.sedap.pa.gov.br/sites/default/files/Boletim_01 - VALOR BRUTO DA PRODUÇÃO - Brasil e Estado do Pará - Janeiro-2022 %281%29_1.pdf](http://www.sedap.pa.gov.br/sites/default/files/Boletim_01_-_VALOR_BRUTO_DA_PRODUÇÃO_-_Brasil_e_estado_do_Pará_-_Janeiro-2022_%281%29_1.pdf)
- SGS. (2018). *No Title*. <https://www.sgsgroup.com.br/pt-br/mining/metallurgy-and-process-design/cyanidation-technologies/cyanide-leaching>
- Siegel, S., & Veiga, M. M. (2009). Artisanal and small-scale mining as an extralegal economy: De Soto and the redefinition of “formalization.” *Resources Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2008.02.001>
- SILVA, V. C. (2016). *INTOXICAÇÃO EXPERIMENTAL POR RESÍDUO DE MANDIOCA (Manihot esculenta Crantz) (MANIPUEIRA) EM OVINOS*. <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/21282/1/SILVAVC2016.pdf>
- Silverstein, T., & Zhang, Y. (1997). The Use of Cyanide at Heap Leach Gold Mines: Safe and Effective Mining Technique or Environmental Nightmare? *The Willamette Journal of the Liberal Arts*, 1–23.
- Sirtunga, D., & Sayre, R. (2004). Engineering cyanogen synthesis and turnover in cassava (*Manihot esculenta*). *Plant Molecular Biology*. <https://doi.org/10.1007/s11103-004-3415-9>
- Smith, N., Lucena, J., Smith, J., Restrepo Baena, O. J., Aristizabal, G., & Delgado, A. (2018). Social Dimension of the Successful Development of Mining Projects – a Focus on Artisanal and Small-Scale Mining. *International Journal of Georesources and Environment*. <https://doi.org/10.15273/ijge.2018.03.017>
- Solomonson, L. P. (1981). Cyanide as a metabolic inhibitor. *Cyanide in Biology/Edited by B. Vennesland...[et Al.]*.
- Stegmann, P., Londo, M., & Junginger, M. (2020). The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, 100029. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100029>
- SUDENE. (2021). *Delimitação do semiárido será revisada este ano*. <https://www.gov.br/sudene/pt-br/assuntos/noticias/delimitacao-do-semiarido-sera-revisada-este-ano>
- Telmer, K. H., & Veiga, M. M. (2009). World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining. In *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Emissions, Measurements and Models*. https://doi.org/10.1007/978-0-387-93958-2_6
- Torkaman, P., Veiga, M. M., de Andrade Lima, L. R. P., Oliveira, L. A., Motta, J. S., Jesus, J. L., & Lavkulich, L. M. (2021). Leaching gold with cassava: An option to eliminate mercury use in artisanal gold mining. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127531>
- UNEP. (2020). *Artisanal and small-scale gold mining. global mercury partnership*. <https://web.unep.org/globalmercurypartnership/our-work/artisanal-and-small-scale-gold-mining-asgm>
- Veiga, Marcello Mariz da, Silva, A. R. B., & Hinton, J. J. (2002). O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. *Extração de Ouro: Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente*.
- Veiga, M M, & Meech, J. A. (1995). Gold mining activities in the Amazon: Clean-up techniques and remedial procedures for mercury pollution. *Ambio*. <https://doi.org/10.2307/4314369>
- Veiga, Marcello M., Angeloci-Santos, G., & Meech, J. A. (2014). Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining. In *Extractive Industries and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.03.004>

- Veiga, Marcello M, & Fadina, O. (2020). A review of the failed attempts to curb mercury use at artisanal gold mines and a proposed solution. In *Extractive Industries and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.06.023>
- Velásquez-López, P. C., Veiga, M. M., Klein, B., Shandro, J. A., & Hall, K. (2011). Cyanidation of mercury-rich tailings in artisanal and small-scale gold mining: Identifying strategies to manage environmental risks in Southern Ecuador. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.008>
- Vial, B., & Zurita, F. (2018). Microeconomía. In *Microeconomía*. <https://doi.org/10.2307/j.ctt2111g56>
- Vieira, R. (2006). Mercury-free gold mining technologies: Possibilities for adoption in the Guianas. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.007>
- Wheatley, C. C., Orrego, J. I., Sanchez, T., & Granados, E. (1993). Quality evaluation of the cassava core collection at CIAT. In *Working Document - Centro Internacional de Agricultura Tropical (Colombia)*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/55695>